Canada

[redacted]

93-EHD-67

bioassay guideline 2
guidelines for tritium bioassay

84- 4993 /

BIOASSAY GUIDELINE 2

GUIDELINES FOR TRITIUM BIOASSAY

Report of the Working Group on
Bioassay and In Vivo Monitoring Criteria
to the
Federal-Provincial Advisory Committee on
Environmental and Occupational Health

Environmental Health Directorate
Health Protection Branch

Published by authority of the
Minister of National Health and Welfare

82-EHD-87

COPIES OF THIS REPORT
CAN BE OBTAINED FROM:

Information Directorate,
Department of National Health and Welfare,
5th Floor,
Brooke Claxton Building,
Ottawa K1A 0K9

FOREWORD

This Guideline is one of a series under preparation by the Federal-Provincial Working Group on Bioassay and *In Vivo* Monitoring Criteria. This Working Group was formed under the auspices of the Federal-Provincial Conference of Deputy Ministers of Health, through the Advisory Committee on Environmental and Occupational Health and the Subcommittee on Radiation Surveillance. The terms of reference include a mandate to prepare a series of documents which specify criteria for bioassay programs, to be presented as recommendations to the Atomic Energy Control Board. In order to obtain a broad representation, the membership includes experts from federal and provincial governments, universities and industry (Appendix A). Membership may change slightly depending on the radionuclides under discussion.

Guidelines and criteria for specific radionuclides are based on the best available metabolic and dosimetric models. If new information that will significantly affect the guidelines becomes available, the documents will be updated. Comments and views from interested persons and agencies should be addressed to the co-chairmen.

TERMINOLOGY

The following definitions are applied to the terminology used in this guideline. Where possible, definitions are based on International Commission on Radiological Protection (ICRP) terminology as applied in ICRP Publication 26(1). For a complete understanding of the terminology, "General Guidelines for Bioassay Programs" (2) should be read in conjunction with all guidelines for specific radionuclides. Abbreviations for some of the terminology differ slightly from those in the general guideline in keeping with the latest ICRP recommendations.

Internal Exposure:

- the exposure resulting from a source of radiation inside the body.

External Exposure:

- the exposure resulting from a source of radiation outside the body.

Dose Equivalent:

- The product of the absorbed dose (D), the quality factor (Q) and other modifying factors (N):

$$H = DQN$$

In the text of this guideline the term "dose" is used for "dose equivalent".

Committed Dose Equivalent ($H_{50,T}$):

- the dose equivalent that will be accumulated by an organ or tissue, T, over 50 years, following a single intake of radioactive material.

$$H_{50,T} = \int_0^{50\ \text{years}} \dot{H}(t)\, dt$$

Effective Dose Equivalent (H_E):

- sum of the weighted dose equivalents to various organs or tissues:

$$H_E = \sum_T W_T H_T$$

where the weighting factors, W_T, for various tissues, T, are as given in ICRP 26(3).

Committed Effective Dose Equivalent ($H_{50,E}$):

- the sum of the weighted committed dose equivalents to various organs or tissues:

$$H_{50,E} = \sum_T W_T H_{50,T}$$

Annual Limit on Intake (ALI) for Occupational Exposure:

- the intake in any year of a radionuclide which will result in either a committed effective dose equivalent to Reference Man of 50 mSv*/ or a committed dose equivalent in any organ or tissue of 500 mSv.

Derived Air Concentration (DAC):

- the concentration of any radionuclide in air that if breathed by reference man for a working year of 2000 hours under conditions of light activity, would result in an ALI by inhalation (4):

$$DAC = ALI / 2.4 \times 10^{3} \text{ Bq m}^{-3}$$

Note: For tritium gas the DAC is limited by the dose equivalent rate in the lung and is not derived from the ALI. In this document HT will be used to denote all forms of tritium gas i.e., HT, DT and T_2.

Bioassay:

- the estimation of internal contamination by the measurement of radioactivity in excreta, other biological samples, or by direct in vivo measurement.

Intake:

- the amount of radioactive material entering the nose, mouth, wound or absorbed through the intact skin.

Retention Function:

- a mathematical expression of the variation with time of the amount of radioactive material remaining in the body or a specified tissue or organ following an intake.

Investigation Level:

- the value of intake as described by ICRP 26(5). For a routine bioassay program, the investigation level shall be set in relation to a single measurement and not the intake in a year. Thus the investigation level is set at $\frac{0.3 \text{ ALI}}{f}$ where f is the number of times per year that the individual measurement is made.

Derived Investigation Level (DIL):

- the value of the measurement under consideration, based on reference man and accepted metabolic and dosimetric models, that corresponds to the investigation level.

---

* 1 Sv = 100 rem

Action Level:

- the value of the measurement under consideration which would indicate that the committed effective dose to Reference Man might exceed the annual dose limit of 50 mSv.

Emergency Level:

- the value of the measurement under consideration which would indicate that the committed effective dose to Reference Man might exceed 250 mSv.

It is noted that words, "may, might, shall and should" as used in the text have been selected with purpose and are intended to convey the following meanings;

May:

- permissible without compromising the objectives of the criteria

Might:

- statement of possibility of occurrence -- no normative connotation

Shall:

- essential to the objectives of the criteria

Should:

- desirable and recommended but not necessarily or always essential to the objectives of the criteria.

TABLE OF CONTENTS

		Page
	FOREWORD	iii
	TERMINOLOGY	v
1.	INTRODUCTION	1
	1.1 Tritium Gas (HT)	2
	1.2 Tritiated Water (HTO)	2
	1.3 Tritium-labelled Compounds (TLC)	3
	1.4 Nucleic Acid Precursors (NAP)	3
2.	REQUIREMENT	4
	2.1 Conditions Where Bioassay is Required	4
	2.2 Conditions Where Bioassay is not Required	6
	2.3 Pre-operational Measurements	6
	2.4 Post-operational Measurements	6
	2.5 Women of Reproductive Capacity	6
	2.6 Pregnant Women	7
3.	ACCURACY, FREQUENCY AND SENSITIVITY	7
	3.1 Sensitivity	7
	3.2 Frequency for HTO	7
	3.3 Frequency for TLC and NAP	8
4.	INVESTIGATIONS AND ACTIONS	8
	4.1 Investigation Level	8
	4.2 Administrative Control Level	9
	4.3 Action Level	9
	4.4 Emergency Level	9
5.	DOCUMENTATION	10
6.	RECORDS	10
	REFERENCES	11
	APPENDIX A - Members of Federal-Provincial Working Group on Bioassay *In Vivo* Monitoring Criteria for Bioassay Guideline 2	15
	APPENDIX B - Use of Urinalysis Data to Calculate an Upper Limit on the Lung Dose from HT Exposures	16

Page

APPENDIX C - Use of Linear Interpolation to Satisfy Accuracy Requirements . 18

APPENDIX D - Calculation of Doses from Routine Bioassay Samples. 23

LIST OF TABLES

Table 1 - Annual Limits on Intake (ALI) and Derived Air Concentrations Used in this Guideline 4

Table 2 - Activity of Tritium (Bq) Handled Which Requires Bioassay. 5

Table 3 - Derived Levels for Tritium in Urine from HTO Exposure (Acute intake of 0.3 ALI) 8

LIST OF FIGURES

Figure 1 - Action Levels for a Minimum Routine Bioassay Program for Tritium . 13

Figure C-1 A Plot of $(H_A - H_{Lin})/H_A$ vs the time between samples. H_{Lin} is the dose calculated using the linear approximation, and H_A is the average dose to an individual with λ max calculated by assuming that an acute exposure has an equal probability of occurring anywhere in the interval between samples. The maximum time between samples (14 days) that will satisfy the accuracy criterion of Eqn C-3 indicated by the arrow. 21

Figure C-2 Plot of $H_A - H_{Lin}$ vs the time between samples. H_{Lin} is the dose calculated using the linear approximation, and H_A is the average dose to an individual with λ max calculated by assuming that an acute exposure has an equal probability of occurring anywhere in the interval between samples. Points to the left and below the line represent combinations of concentration (C_2) and time between samples that will satisfy the accuracy criterion of Eqn C-4 22

Figure D-1 Calculation of Doses from Routine Bioassay Samples. 25

1. INTRODUCTION

Tritium (^3H) is the only radioactive isotope of hydrogen. It has a radioactive half-life of 12.3 years and decays to ^3He by the emission of a low energy beta particle. These particles have a maximum energy of 18.6 keV, an average energy of 5.7 keV and a maximum range in tissue of less than 6 μm. Because of this short range, tritium does not constitute a radiation hazard unless it enters the body. The low energy of the beta particles and the lack of photon emission precludes the use of *in vivo* monitoring, and requires the measurement of tritium in body fluids or excreta. Urine is most commonly used.

The dose rate to an organ or tissue T containing tritium is expressed by the following equation:

$$\dot{H}_T = 1.38 \times 10^{-8} \varepsilon \; C_T(t) \qquad (1)$$

where $\dot{H}_T$ = the dose rate (Sv d^{-1}) to organ or tissue T

ε = the effective energy per disintegration = 0.0057 MeV (Q=1; N=1)

$C_T(t)$ = the tritium concentration (Bq kg^{-1}) in organ or tissue T

The committed dose to organ or tissue T is expressed by the equation:

$$H_{50,T} = 7.9 \times 10^{-11} \int_0^{50 \text{ years}} C_T(t)dt \qquad (2)$$

and the committed effective dose is

$$H_{50,E} = \sum_T W_T H_{50,T} \qquad (3)$$

where W_T are the weighting factors recommended by the ICRP (3).

In this report tritium compounds have been grouped into four categories for the purpose of calculating Annual Limits on Intake (ALI) and Investigation Levels (IL): tritium gas, tritiated water, tritium-labelled compounds and nucleic acid precursors.

Persons using this guideline are warned that except for tritiated water, there is considerable uncertainty associated with these ALI's and with the retention functions used in the calculations. Therefore in the event of a significant intake, extra effort should be made to determine the individual's retention function as a basis for dose assessment.

1.1 Tritium Gas (HT)

The ICRP has recently recommended that only the dose to the lung from HT in the air in the lungs need be considered, and has calculated a Derived Air Concentration (DAC) of 2×10^{10} Bq m^{-3}(6). Recent calculations by Peterman (16) taking into account the *in vivo* oxidation of HT to HTO result in a DAC of 1×10^{10} Bq m^{-3}. This latter concentration would result in a lung dose of 0.21 Sv a^{-1} to Reference Man (0.05 Sv effective dose) assuming a working year of 2000 h. This DAC is a factor of about 10^4 higher than that for tritiated water (HTO, DTO, T_2O) and consequently, when HT is converted to HTO outside the body, the dose from HTO may become limiting.

When tritium is observed in the urine of individuals working with HT, and if the HT/HTO ratio in air is unknown, an immediate investigation shall be initiated. The concentration of tritium in urine shall be used to calculate the dose to tissues and organs other than the lung by assuming the exposure was to HTO. Dose to the lung must be estimated from air monitoring results (6). However, an estimate of the maximum possible lung dose can be obtained from the concentration of tritium in urine (see Appendix B).

1.2 Tritiated Water (HTO)

Tritiated water, whether inhaled, ingested or absorbed through skin, is assumed to be immediately and completely mixed with the total body water, although this may take as long as 4 hours (7). Some of the tritium in body water will exchange with hydrogen in exchangeable sites in tissue cells, and a smaller fraction will become incorporated into non-exchangeable hydrogen sites of the cells. Thus, the retention of tritium in soft tissue following an exposure to HTO will have at least two components, the major one representing the turnover of water (mean residence time time in the body of about 14 days) and the others representing the turnover of cells (mean residence time in the body of about 70 days) (17). This retention is usually written as the sum of two or more exponentials (8,18).

The ICRP only uses the first exponential representing the retention of body water when calculating the committed dose, which is reasonable as the variability of this mean residence time is much larger than the error introduced by ignoring the other components (8). However, since these other components are used in deriving the relationship between urinary concentration and dose rates (Appendix D), they are included here for consistency. They can be accounted for in the calculation of the committed dose by representing them as a fraction (2.2%) of the initial intake of tritium with a mean residence time of 70 days. The committed effective dose equivalent is then expressed by the following equation:

$$H_{50,E} = 7.9 \times 10^{-11} C_o \int_0^{50} (0.978e^{-t/14} + 0.022e^{-t/70})\, dt \qquad (4)$$

$$= 1.2 \times 10^{-9}\, C_o \text{ Sv}$$

where C_o = the initial concentration of tritium in soft tissue (Bq kg^{-1}).*

The initial concentration of tritium in soft tissue may be obtained by dividing the intake by 63 kg (63 kg is the mass of soft tissue for Reference Man (9)).

Hence the committed effective dose per Bq intake is

$$2 \times 10^{-11} \text{ Sv}$$

and the ALI is

$$3 \times 10^{9} \text{ Bq.}$$

1.3 Tritium-labelled Compounds (TLC)

Tritium-labelled compounds, excluding nucleic acid precursors, may have a shorter retention than HTO (8). However, since much of the tritium may be in exchangeable sites, and since the compounds may be catabolized, it is assumed here that they have the same distribution, retention, and excretion as HTO.

1.4 Nucleic Acid Precursors (NAP)

Nucleic acid precursors generally have a longer retention than HTO although much of the tritium may be exchangeable sites, or be catabolized (8). However, since work with NAP often involves specific labelling at non-exchangeable sites, and since these compounds may have a less uniform distribution than HTO, it is recommended that an ALI equal to 1/10 that for HTO be used. This value was chosen after review of ICRP 23 (9) and NCRP 63 (10).

---

* The Bq kg^{-1} unit is used for dosimetry calculations whereas elsewhere in the document Bq L^{-1} is used as the usual unit for urine concentration. Since the difference between these units is insignificant, they may be interchanged.

2. REQUIREMENT

2.1 Conditions Where Bioassay is Required

Bioassay shall be required for any individual who is occupationally exposed to tritium under conditions where:

(a) the intake in any year might exceed 0.1 ALI as listed in Table 1; or

(b) respiratory equipment and/or protective clothing is required to limit intake; or

(c) the quantities handled are in excess of those listed in Table 2 unless it can be demonstrated that an intake greater than 0.1 ALI has not occurred.

In addition bioassay may be required to ensure that contamination control is adequate, even though the quantities involved are less than those in Table 2.

Table 1 - Annual Limits on Intake (ALI) and
Derived Air Concentration (DAC) Used in this Guideline

Form	ALI (Bq)		DAC (Bq m^{-3})
	Oral	Inhalation	
Tritium Gas (HT)	-	-	1×10^{10}
Tritiated Water (HTO)	3×10^{9}	3×10^{9}	8×10^{5} *
Tritium Labelled Compounds (TLC)	3×10^{9}	3×10^{9}	1×10^{6}
Nucleic Acid Precursors (NAP)	3×10^{8}	3×10^{8}	1×10^{5}

* DAC reduced by factor of 1.5 to allow for skin absorption of HTO.

Tritium gas is a special case. Since only the upper limit on lung dose can be estimated from bioassay measurements, (see Appendix B) the lung dose must be calculated from air sampling data (6). Therefore air monitoring shall be performed at any workplace where the average air concentration of HT during periods of occupancy in a year might exceed 0.1 DAC for HT. However, if air monitoring cannot distinguish between HT and HTO, then the following actions shall be taken even if HTO is thought not to be present:

(i) If the average air concentration (HT and/or HTO) during occupancy is between 0.1 and 1.0 DAC for HTO, periodic bioassay measurements for HTO shall be performed to verify that doses from HTO will not exceed 0.1 of the annual dose limit.

Table 2 - Activity of Tritium (Bq) Handled Which Require Bioassay*.

Type of Containment	Chemical Form			
	HT**	HTO	TLC	NAP
None				
per experiment	3×10^{10}	3×10^{10}	3×10^{11}	3×10^{10}
per 2 weeks	4×10^{9}	4×10^{9}	4×10^{10}	4×10^{9}
per month	8×10^{9}	8×10^{9}	8×10^{10}	8×10^{9}
per quarter	2×10^{10}	2×10^{10}	2×10^{11}	2×10^{10}
Fumehood				
per experiment	6×10^{10}	6×10^{10}	2×10^{12}	2×10^{11}
per 2 weeks	7×10^{9}	7×10^{9}	2×10^{11}	2×10^{10}
per month	2×10^{10}	2×10^{10}	4×10^{11}	4×10^{10}
per quarter	5×10^{10}	5×10^{10}	1×10^{12}	1×10^{11}
Glove Box or Sealed System				
per experiment	3×10^{12}	3×10^{12}	3×10^{13}	3×10^{12}
per 2 weeks	4×10^{11}	4×10^{11}	4×10^{12}	4×10^{11}
per month	8×10^{11}	8×10^{11}	8×10^{12}	8×10^{11}
per quarter	2×10^{12}	2×10^{12}	2×10^{13}	2×10^{12}

*ASSUMPTIONS USED FOR CONSTRUCTION OF TABLE 2

1. Any intake that might occur under conditions of no containment would be reduced by the following factors when either a fumehood or closed system is utilized:

Compound	Reduction Factor	
	Fumehood	Closed System
HTO	2	100
NAP	5	100
TLC	5	100

It is emphasized that the above factors are conservative estimates for the purpose of deciding on the necessity for bioassay. They are not intended to be representative of protection factors usually found in practice.

2. The percentage of material handled with no containment that could unknowingly be taken into the body is assumed to be:

HTO: 1%
NAP and TLC 0.1%

** This assumes that no air monitoring for HT or HTO is performed and that all HT may be converted to HTO. If air monitoring is performed, refer to Section 2.1 of the text to see under what conditions bioassay will not be required. If responsible radiation protection personnel judge that complete conversion to HTO cannot occur, the activity requiring bioassay may be increased by an appropriate amount.

(ii) If the average air concentration (HT and/or HTO) during occupancy is above the DAC for HTO a bioassay program for HTO shall be established.

If air monitoring can distinguish between HT and HTO, and if the average air concentration of HT during occupancy exceeds 10 DAC for HTO, a bioassay program for HTO shall be established. This program shall be implemented, regardless of how low the measured air concentration of HTO may be.

2.2 Conditions Where Bioassay is Not Required

Bioassay measurements are not normally required if any of the following conditions exist:

(a) the tritium is in a sealed container;

(b) the tritium is in a chemical or physical form that is non-dispersible and cannot be absorbed through the skin. However, bioassay may be required when tritiated foils and targets are used because experience has shown that use of these materials can result in significant intakes from absorption through the skin or release of particulate and gaseous tritium (11,12);

(c) workplace monitoring identifies conditions where intakes exceeding 0.1 ALI are most unlikely.

2.3 Pre-operational Measurements

Pre-operational or baseline measurements are not normally required for tritium but may be desirable when the individual's exposure history is unknown.

2.4 Post-operational Measurements

Post-operational measurements where required, as outlined in Section 2.1, shall be made as soon as practicable but within two weeks of possible exposure to tritium. At least 4 hours should be allowed for equilibrium in blood and urine to be established (7).

2.5 Women of Reproductive Capacity

There is a possibility that a woman of reproductive capacity may be unknowingly pregnant. However, providing that the radiation dose to the abdomen, i.e., the fetus, is received at a regular rate and the investigation level, $(\frac{0.3\ \text{ALI}}{f})$ is not exceeded, the dose in any given month will not exceed 1.25 mSv, $(\frac{0.3 \times 50}{12})$. The increased risk to the fetus from this amount of radiation is small when compared with the normal incidence of malformations and cancers in the general population. It is therefore considered unnecessary to set different bioassay requirements for women of reproductive capacity.

2.6 Pregnant Women

Once a pregnancy is diagnosed and disclosed, the woman should be permitted to work only in areas meeting the criteria for Working Condition B as defined by the ICRP (13) or in areas where it is most unlikely that the annual intake will exceed 0.1 ALI, and therefore a bioassay program is not required.

3. ACCURACY, FREQUENCY AND SENSITIVITY

The accuracy, frequency and sensitivity requirements for a bioassay program depend on whether or not bioassay is the only method available for detecting intakes. The accuracy required in calculating the committed dose is set out in the General Guidelines (2). This requirement can be met easily for HTO exposure where the distribution and retention are well-known, but cannot be assured for other tritiated compounds.

3.1 Sensitivity

The sensivity requirement for measuring tritium in urine from HTO exposures shall be 5×10^4 Bq L^{-1} for routine bioassay. For measuring tritium in urine from exposure to HT, NAP, TLC, and for non-routine measurements, the sensivity shall be 5×10^3 Bq L^{-1}. This latter sensitivity is readily attainable by commercially available liquid scintillation counters.

3.2 Frequency for HTO

Appendix C to these Guidelines shows that the accuracy requirements for HTO dose calculations can be met using the linear approximation if urine samples are obtained twice a month (f = 26). The linear approximation may introduce some bias in the dose estimates and, if a single sample exceeds 10^6 Bq L^{-1}, weekly (f = 52) samples shall be obtained until the concentration falls below this level, to ensure that the dose can be estimated with sufficient accuracy.

When the frequency of bioassay is not set by the accuracy requirements given above, the following shall apply:

(a) At least one person in each working area shall be monitored once per week, and all persons shall be monitored each month (f = 12). If any person has a urine concentration greater than 5×10^3 Bq L^{-1}, all persons who have been working in the vicinity shall be required to submit samples for analysis within one week of the elevated result.

(b) Bioassay is not required if it can be demonstrated through air monitoring that the annual intake for any person is less than 0.1 ALI.

3.3 Frequency for TLC and NAP

Exposures to TLC or NAP that result in the routine excretion of tritium are unacceptable, since these compounds are not very volatile and intakes should not occur. Any urine sample containing tritium above 5×10^3 Bq L^{-1} shall require further investigational samples.

4. INVESTIGATIONS AND ACTIONS

4.1 Investigation Level

As specified in the General Guidelines (2), the investigation level is set at $\frac{0.3 \text{ ALI}}{f}$ where f is the number of measurements per year as defined in Section 3.1. This expression implies that as the interval between measurements decreases, the fraction of the annual limit on intake that can be ingested or inhaled in the period between the measurements also decreases.

Since it must be conservatively assumed that any tritium observed in urine originates from an intake occurring immediately following the previous measurement, the effective half-life of the tritium must be taken into account when calculating the derived investigation level. Table 3 shows the calculated DIL for measurements made at 7 day, 14 day and 30 day intervals, where the maximum urine concentration measured immediately after equilibration in the body of an acute intake of 0.3 ALI, is 20 MBq L^{-1}.

Table 3 - Derived Levels for Tritium in Urine from HTO Exposure (Acute intake of 0.3 ALI)

Sampling Interval	$\frac{1}{f}$	Half-Life Correction Factor	Total Correction Factor	Derived Investigation Level MBq L^{-1}	Derived Action Level MBq L^{-1}	Derived Emergency Level MBq L^{-1}
7 days	.019	0.62	.012	0.23	40	200
14 days	.038	0.38	.014	0.27	25	120
30 days	.082	0.13	.011	0.22	8	42

If these derived investigation levels are exceeded, actions shall be taken as listed below and show in the flow chart in Figure 1:

(a) Confirm the results;

(b) Determine when the intake occurred;

(c) Check the working conditions and ascertain whether others could have been exposed.

For practical purposes, when the sampling interval is 30 days or less, the DIL may be taken as 0.2 MBq L^{-1}.

Investigations should also be made when any unexpected result is observed; e.g., when results show a significant deviation from the past average, or when results are inconsistent with air or surface monitoring results. Such a decision is a matter of judgement on the part of responsible radiation protection personnel.

4.2 Administrative Control Level

For administrative or dose control purposes, it may be useful to define a level different from the DIL but below the Action Level (defined below).

4.3 Action Level

A committed effective dose of 50 mSv from a single intake has been defined as the action level in the General Guidelines (2). The corresponding urine concentrations or derived action levels, for sampling intervals of 7, 14 and 30 days are given in Table 3. When the action level is exceeded, one may wish to consider therapeutic action to increase water turnover (14). A physician should be consulted before any therapeutic action is undertaken.

Other actions shall be according to Figure 1 and as listed in the General Guidelines (2) Section 8 i.e.:

(a) Protect the individual from any further intakes;

(b) Protect the individual from any further external exposure;

(c) Determine the individual's retention function;

(d) Determine the individual's total accumulated dose from both internal and external sources, and add the committed effective dose based on present measurements. If this total exceeds the annual dose limit then the Atomic Energy Control Board shall be informed (15). If not, then the individual may resume normal duties, at the discretion of responsible radiation protection personnel.

4.4 Emergency Level

A committed effective dose of 250 mSv from a single intake has been defined as the emergency level in the General Guidelines (2). The corresponding urine levels or derived emergency levels, for sampling periods of 7, 14 and 30 days are given in Table 3. Above these levels, therapeutic measures should be considered in consultation with a physician. Other actions shall be taken as shown in Figure 1 and as listed in the General Guidelines:

(a) Remove the individual from work immediately;

(b) Notify A.E.C.B. or designated officer (15);

(c) Determine the individual's retention function;

(d) Calculate total dose as in Section 4.3.d.

5. DOCUMENTATION

The following information shall be documented in sufficient detail so that the adequacy of the bioassay program, and the committed dose estimates based on bioassay measurements, may be re-evaluated at a later date:

(a) Methods and Equipment:
Details of sampling and analytical procedures including equipment used, shall be recorded and updated as changes are made.

(b) Dose Calculations:
Whenever bioassay measurements are used to estimate dose, details of the calculations shall be recorded. A recommended method of calculation is given in Appendix D.

(c) Quality Assurance:
Details and results of all quality assurance programs shall be recorded.

(d) Chemical Form:
In view of the paucity of data concerning the metabolic and biological half-life of many compounds of tritium, the chemical form of the tritiated material should be recorded.

(e) Other:
All other relevant information shall be documented.

6. RECORDS

Records of individual bioassay measurements (date and concentration), estimated committed doses and program audits shall be kept until disposal is authorized by the appropriate government agency. The dose estimates should be made available as requested for inclusion in the National Dose Registry.

REFERENCES

1. ICRP Publication 26, 1977. Annals of the ICRP, Vol. 1, No. 3. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (as amended in ICRP Publication 28, 1978). Pergamon Press, Oxford.

2. Bioassay Guideline 1, 1981. General Guidelines for Bioassay Programs. Report of the Federal Provincial Working Group on Bioassay and In Vivo Monitoring Criteria. Health and Welfare Canada. 81-EHD-56.

3. ICRP Publication 26, para. 105.

4. ICRP Publication 30, Part 1, 1979. Annals of the ICRP, Vol. 2, No. 3/4. Limits for Intakes of Radionuclides by Workers, p. 9.

5. ICRP Publication 26, para. 178.

6. ICRP Publication 30, Part 1, 1979. Section 8.2.1.

7. Osborne, R.V., 1966. Absorption of Tritiated Water Vapour by People. Health Phys. 12: 1527-1537.

8. ICRP Publication 30, Part 1, 1979. pp. 65-68.

9. ICRP Publication 23, 1975. Report of the Task Group on Reference Man. Pergamon Press, Oxford.

10. NCRP Report No. 63. 1979. Tritium and other Radionuclide Labelled Organic Compounds Incorporated in Genetic Material. National Council on Radiation Protection and Measurements, Washington, D.C.

11. Kocol, H., McNelis, D.N. and A.A. Moghissi, 1976. A Study of the Particulate and Gaseous Emissions of Tritium from Neutron Generator Targets. Health Phys. 31: 73-76.

12. Carlton W.H., Braselton W.E., Bransome E.D. 1975. Release of Radioactivity from a Scandium Tritide Electron Capture Detector Used in Gas Chromatography. Health Phys. 29: 411-413.

13. ICRP Publication 26, para. 161.

14. Norwood, W.O. 1975. Health Protection of Radiation Workers. p. 201. Charles C. Thomas, Springfield Illinois.

15. Atomic Energy Control Regulations 1974. SOR/DORS/74-334 Canada Gazette pt. II Vol. 108 No. 12.

16. Peterman, B.F., 1982. Computer Modelling of HT Gas Metabolism in Humans, paper presented at the Third Annual Conference of the Canadian Radiation Protection Association. Vancouver, B.C., May 4-6.

17. Johnson, J.R., 1982. The Estimation of the Effective Dose Equivalent from Tritiated Water Exposures Using Tritium Concentrations in Urine. Radiation Protection Dosimetry Vol. 2, No. 4, pp. 245-247.

18. NCRP Report No. 62, 1979. Tritium in the Environment. National Council on Radiation Protection and Measurements, Washington, D.C.

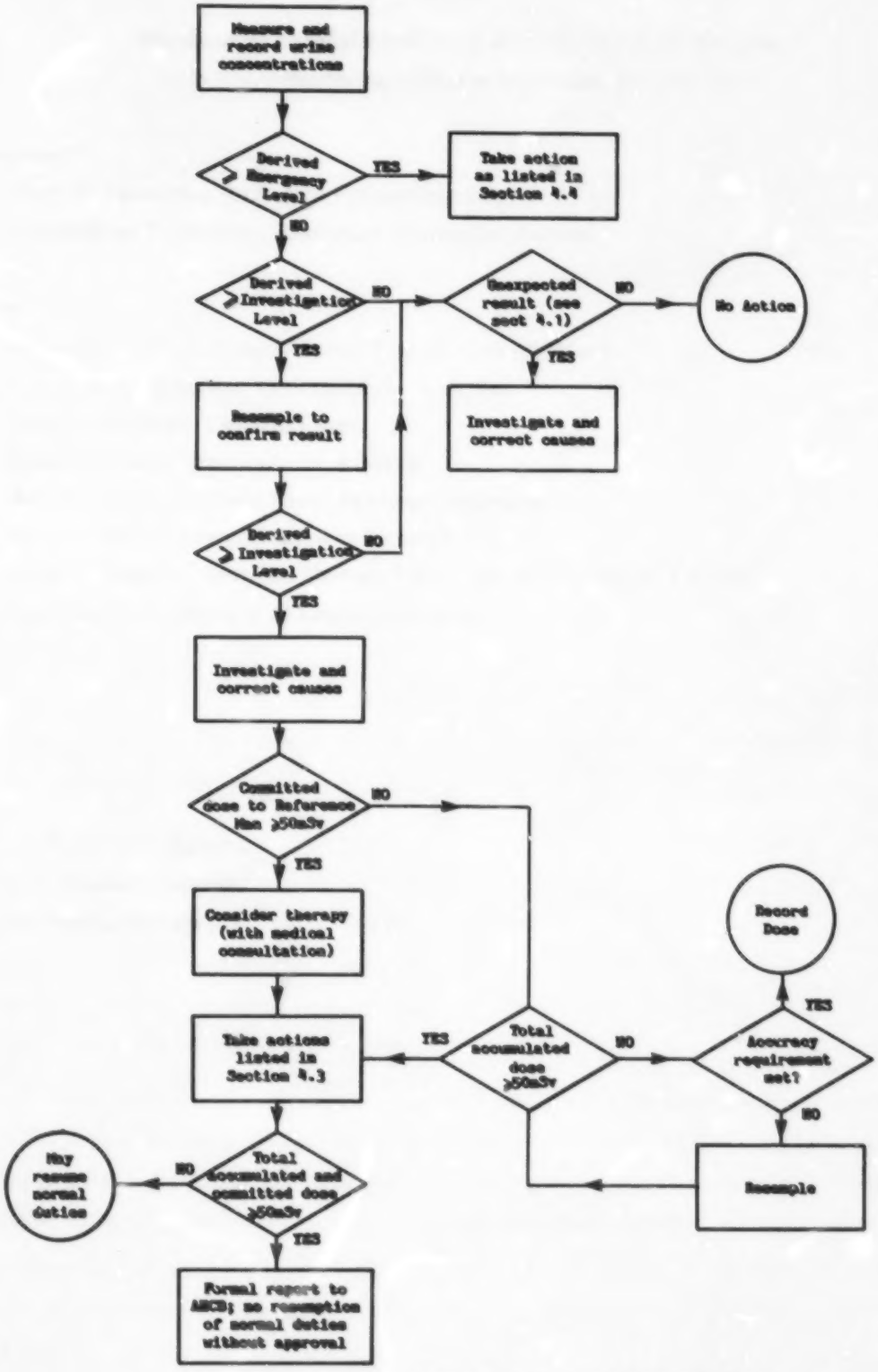


Figure 1 Action Levels for a Minimum Routine Bioassay Program for Tritium

APPENDIX A

Members of Federal-Provincial Working Group on Bioassay
in In Vivo Monitoring Criteria for Bioassay Guideline 2

Co-Chairmen*

Mary P. Measures, Radiation Protection Bureau
Christopher T. Pomroy, Radiation Protection Bureau

Members:

Robindra M. Chatterjee, Atomic Energy Control Board
Michel S. Deschamps, Université de Montréal
David J. Gorman, Ontario Hydro
Stuart E. Hunt, University of Alberta
John R. Johnson, Chalk River Nuclear Laboratories
William Neill, Eldorado Nuclear Limited
Roger F. Palser, Manitoba Cancer Treatment and Research Foundation
John Tai-Pow, Ministry of Labour, Ontario

*Radiation Protection Bureau,
Health and Welfare Canada,
Brookfield Road, Ottawa

APPENDIX B

Use of Urinalysis Data to Calculate an Upper Limit on the Lung Dose from HT Exposures

Lung Dose

The dose H to lungs from HT (DT, T_2) in the air in the lungs is:

$$H = k_1 \int_0^T C_1(t)dt \qquad \text{(B-1)}$$

where $C_1(t)$ is the concentration of HT in air.

The constant k_1 can be calculated using the standard formula. That is, for a constant exposure to 1 Bq m^{-3} for one hour, the dose is:

$$H = 1.38 \times 10^{-5} \quad \frac{\varepsilon \ Q}{M} \quad \text{Sv} \qquad \text{(B-2)}$$

Q = integrated activity in Bq d

$$= \frac{1 \times 3 \times 10^{-3}}{24} = 1.25 \times 10^{-4} \text{ Bq d.}$$

(3×10^{-3} m^3 = volume of air in lungs)

ε = effective energy of ^3H

= 0.0057 MeV

M = mass of the lung

= 1000 g

therefore $H = 9.83 \times 10^{-15}$ Sv

and $k_1 = 9.83 \times 10^{-15}$ Sv Bq^{-1} m^3 h^{-1}

Urine Concentration

Pinson and Langham (B1) have shown that exposure to HT gas results in HTO being excreted in urine, and that the HTO concentration in urine increases linearly with the length of time of exposure to a constant air concentration for up to two hours. It is reasonable to assume, based on modelling HT metabolism (B2), that the rate of oxidation of HT in vivo is directly proportional to the concentration of HT in lungs.

That is,

$$\frac{dC_2(t)}{dt} = k_2 C_1(t) - \lambda C_2(t) \qquad \text{(B-3)}$$

where $C_2(t)$ is the concentration of HTO in body fluids (urine) and λ is the rate constant for HTO excretion (0.0693 d^{-1}). Then if $C_2(t)$ is zero at the start of the exposure to HT at concentration in air of $C_1(t)$, after time T the urine concentration will be:

$$C_2(t) = k_2 \int_0^T C_1(t)\, e^{-\lambda(T - t)} dt \qquad \text{(B-4)}$$

If $\lambda T << 1$

$$C_2(T) = k_2 \int_0^T C_1(t)\, dt \qquad \text{(B-5)}$$

k_2 can be calculated from Figure 13 of B1. That is (in the units of the reference)

$$k_2 = \frac{8 \times 10^{-3}\ \mu Ci\ mL^{-1}\ (urine)}{9\ \mu Ci\ mL^{-1}\ (air)\ h}$$

$$= 8.9 \times 10^{-7}\ kg^{-1}\ m^3\ h^{-1}$$

Lung Dose from Urine Concentration

Combining equations B-1 and B-5 gives

$$H = \frac{k_1}{k_2} \quad C_2(T)$$

$$= 1.1 \times 10^{-8}\ C_2(T)\ Sv\ kg\ Bq^{-1} \qquad \text{(B-6)}$$

Equation B-6 allows one to calculate an upper limit on lung dose using urinalysis provided the urine sample was obtained within a few days of the start of the exposure to HT. It should be emphasized that this is an upper limit on lung dose as some (or all) of the HTO in urine may have resulted from HTO, rather than HT, exposure.

References

B1 E.A. Pinson and W.H. Langham, Physiology and Toxicology of Tritium in Man, Health Phys. 1087 38, 1980. Reprinted from the Journal of Applied Physiology 10, 108, 1957.

B2 B.F. Peterman, CRNL 1982. Computer Modelling of HT Gas Metabolism in Humans, presented at the Canadian Radiation Protection Association Annual Conference, Vancouver, May 4-6.

APPENDIX C

Use of Linear Interpolation to Satisfy Accuracy Requirements

This appendix is based on, but not identical to, information given in a report by J.R. Johnson (C1), and a presentation by R.V. Osborne and J.R. Johnson (C2). The purpose of this appendix is to show that the dose from HTO exposures calculated by a linear interpolation between the concentration measurements of tritium in urine will result in doses that meet the accuracy requirements specified in the General Guidelines (C3). This also allows the frequency requirements to be set. The accuracy requirement states that the estimated dose must be within 50% of the 95% upper confidence level on dose, and if the annual dose is less than 0.02 Sv, an accuracy of 0.01 Sv at the 95% confidence level is sufficient.

Given two urine samples at t_1 and t_2 with concentrations C_1 and C_2 the linear interpolation dose is (see Introduction and Appendix D).

$$H_{lin} = \frac{KT\,(C_1 + C_2)}{2} \qquad \text{(C-1)}$$

$$K = 5.8 \times 10^{-11}\ \text{Sv kg Bq}^{-1}\ \text{d}^{-1}$$

$$T = t_2 - t_1$$

The maximum dose in this period would result if an acute exposure occurred immediately after t_1. This maximum dose would be

$$H_{max} = K\,C_2\,e^{-\lambda T} \int_0^T e^{-\lambda T}\ dt \qquad \text{(C-2)}$$

Butler et al., (C4) gives a range of values for retention from which the 90% confidence interval for halflives can be estimated to be 5.4 to 13.6 days. The 95% upper confidence level H_{max} is therefore obtained by setting

$$\lambda = \lambda_{max} = \frac{\ln(2)}{5.4}\ \text{d}^{-1}$$

The accuracy requirements stated above refer to doses received in a year, whereas H_{1in} and H_{max} refer to doses received in the period T. As it is highly unlikely that the maximum dose will occur in each of the 365/T periods in a year in a routine monitoring program, the accuracy requirements on the dose in any given period are relaxed. This relaxation is achieved by considering that, if only one urine sample was analysed in a year, the maximum dose, H_{max}, may have resulted, whereas if many samples were analysed in a year, the likelihood of the H_{max} occuring in each of the periods between samples is small. In order to calculate a minimum frequency for bioassay samples, it is assumed that a single intake occurs at a random time between samples. Then the accuracy requirement is that the calculated dose should be within 50% at the 95% confidence level of the average dose between samples, H_A (see equation C-6 below) using $\lambda = \lambda_{max}$.

If the annual dose is projected to be below 0.02 Sv, then the calculated dose only needs to be within 0.01 Sv of the average dose H_A. The annual dose will be below 0.02 Sv if the urinary concentrations are all below 9×10^5 Bq kg^{-1}.

The inequalities that satisfy the accuracy requirements are then

$$\frac{H_A - H_{1in}}{H_A} \leq 0.5 \qquad \text{(C-3)}$$

if the annual dose is above 0.02 Sv, and

$$H_A - H_{1in} \leq 0.01\ T/365\ \text{Sv} \qquad \text{(C-4)}$$

if the annual dose is below 0.02 Sv

Values of H_A are calculated as follows:

The dose in the period t_1 to t_2 from a single intake at time t is ($0 \leq t \leq T = t_2 - t_1$):

$$H = KC_1 \int_0^t e^{-\lambda t}\, dt + KC_2\, e^{\lambda(T-t)} \int_t^T e^{-\lambda(t'-t)}\, dt'$$

$$H = \frac{KC_1}{\lambda}\left[1 - e^{\lambda t}\right] + \frac{KC_2}{\lambda}\left[e^{-\lambda(t-T)} - 1\right] \qquad \text{(C-5)}$$

If t is equally probable on the interval t_1 to t_2, the average dose to a person over many intervals is:

$$H_A = \frac{1}{T}\int_0^T H\, dt$$

$$= KC_1\left[(1/\lambda - (1-e^{-\lambda T})/\lambda^2 T)\right] - KC_2\left[1/\lambda - (e^{\lambda T} - 1)/\lambda^2 T\right] \qquad \text{(C-6)}$$

$(H_A - H_{1in})/H_A$ is plotted on Figure C-1 as a function of T, the time between samples for $C_1 = 0$; $C_1 = 0$ giving the largest difference between H_A and H_{1in}. While it is unlikely that $C_1 = 0$ for all periods unless C_2 is also zero, it will ensure that the accuracy requirements are met for all values of C_2 if $(H_A - H_{1in})/H_A$ is below 0.5, or from the graph, if T is less than or equal to 14 days.

Values of C_2 ($C_1 = 0$) for which

$$H_A - H_{1in} = 3.91T/365$$

are plotted on Figure C-2 as a function of time. If all measured urinary concentrations are below this line, inequality C-4 will be satisfied. In particular, if urinary concentrations are below 2×10^5 Bq kg^{-1}, a monitoring frequency of once a month (f = 12) will satisfy the accuracy requirements.

However since it cannot be judged a priori if the next sample will or will not exceed 2×10^5 Bq kg^{-1}, it is recommended that in situations requiring routine bioassay for HTO, samples be obtained not less than biweekly (f = 26).

References:

C1 Johnson, J.R. 1976 Estimation, Recording, and Reporting of Whole Body Doses from Tritium Oxide Exposure at CRNL. Atomic Energy of Canada Ltd., report 5507.

C2 Osborne, R.V., Johnson, J.R. 1979 Problems in Estimating Effective Dose equivalent from the Results of Bioassay for Tritium. Presented at the Annual General Meeting of the Health Physics Society, Philadelphia, 1979.

C3 Butler, H.L., LeRoy, J.H. 1965 Observations on the Biological Half-Life of Tritium. Health Physics 11:283-285.

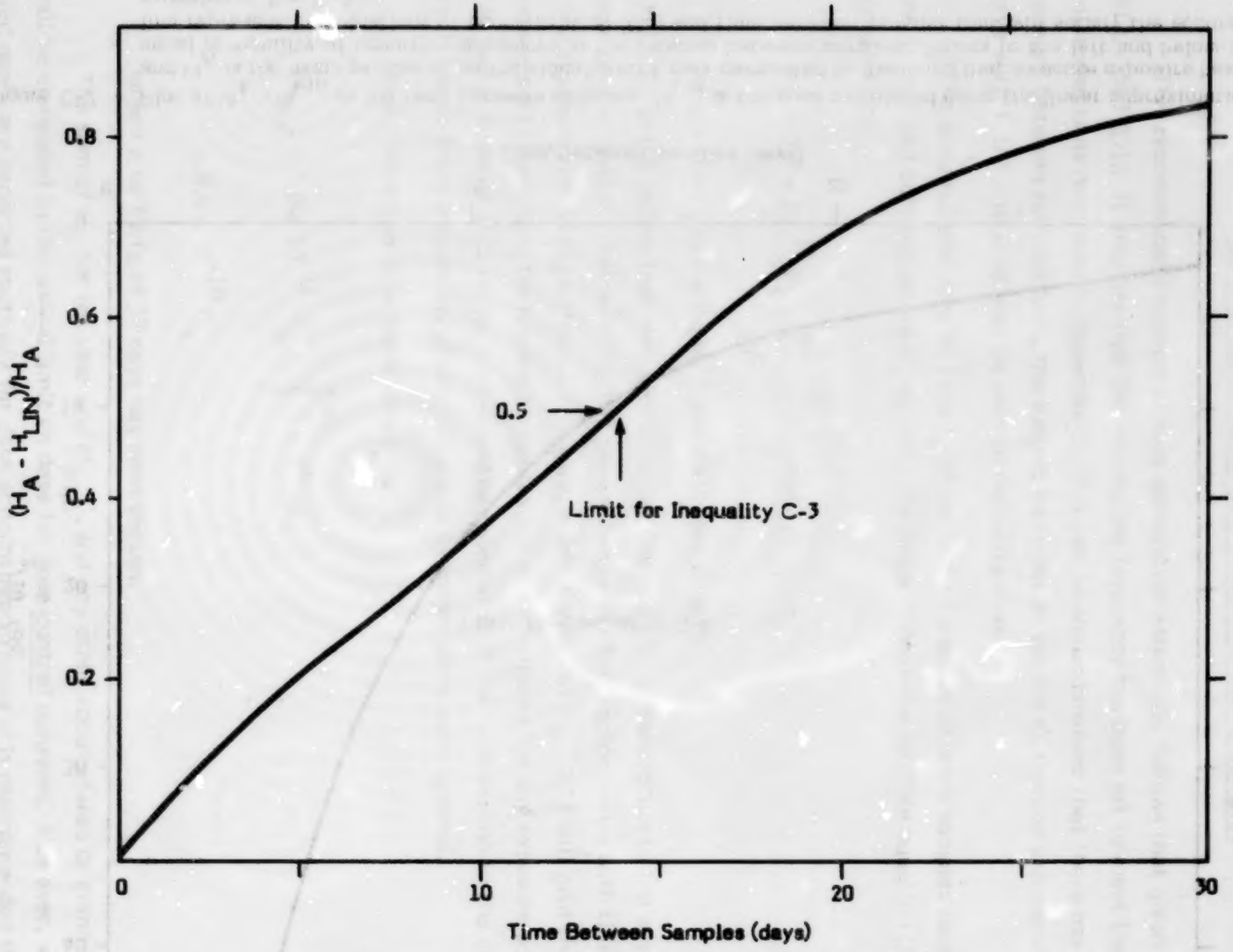


Figure C-1 - A Plot of $(H_A - H_{Lin})/H_A$ vs the time between samples. H_{Lin} is the dose calculated using the linear approximation, and H_A is the average dose to an individual with λ max calculated by assuming that an acute exposure has an equal probability of occurring anywhere in the internal between samples. The maximum time between samples (14 days) that will satisfy the accuracy criterion of Eqn C-3 is indicated by the arrow.

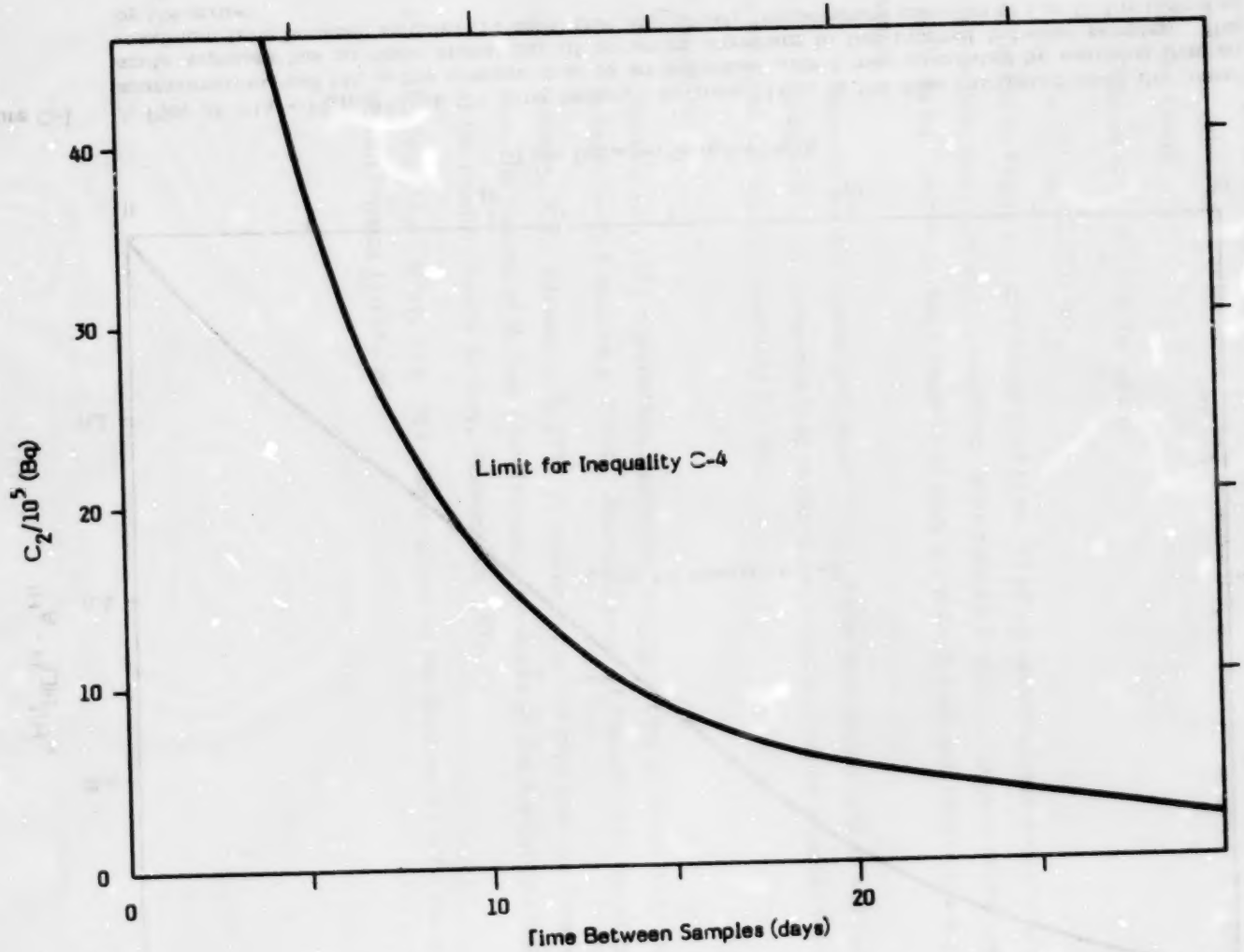


Figure C-2 - Plot of $H_A - H_{Lin}$ vs the time between samples. H_{Lin} is the dose calculated using the linear approximation, and H_A is the average dose to an individual with λ max calculated by assuming that an acute exposure has an equal probability of occurring anywhere in the internal between samples. Points to the left and below the line represent combinations of concentration (C_2) and time between samples that will satisfy the accuracy criterion of Eqn C-4.

APPENDIX D

Calculation of Doses from Routine Bioassay Samples

This recommended method of dose calculation essentially follows that given in AECL-5507 (D1). It assumes that the monitoring frequency has been set to meet the accuracy requirements as described in Appendix C. If it can be shown however that there has been no exposure between samples (e.g., the subject has been on vacation), then an exponential retention curve with T 1/2 = 10 days may be used to calculate dose.

The accumulated dose to time t_k of the last of a series of urine samples taken at time t_i that had concentrations C_i is, using the linear approximation (See equation (1) of the Introduction)

$$H_E = 7.9 \times 10^{-11} F_c \sum_{i=0}^{k-1} \frac{(C_i + C_{i+1})}{2} (t_{i+1} - t_i) \qquad \text{(D-1)}$$

where the C_i in the Bq kg^{-1} and the t_i are in days

F_c is the factor that converts urine (or body water) concentration to the average soft tissue concentration. Johnson (D2) has shown that, while this factor varies with time after an acute exposure, or during a chronic exposure, a single value of $F_c = 0.73$ will give the correct average soft tissue dose from urine concentration measurements for any exposure pattern. This factor is about 10% larger than would be calculated if the contribution to the concentration in soft tissue from tritium in non-exchangeable hydrogen sites were ignored.

The committed dose from time t_k is

$$H_{50,E} = 5.8 \times 10^{-11} C_k \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} \, dt \qquad \text{(D-2)}$$

$$= 8.4 \times 10^{-10} C_k$$

where a half life of 10 days has been chosen.

The sum of H_E for the year and $H_{50,E}$, and any other accumulated or committed doses, shall be compared to the annual limit on dose for dose control purposes. However, when accumulated doses are reported routinely for dose accounting purposes it is recommended that only the

committed dose up to the reporting time be reported. With reference to Figure D-1, if t_a is a reporting time, then the dose reported at t_a will be the accumulated dose to t_1 and the dose between t_1 and t_a calculated by assuming a 10-day half life. Similarly, the dose accumulated between t_a and t_b is:

$$H_E^b = 5.8 \times 10^{-11} \left[\frac{(C_1 + C_2)}{2} (t_2 - t_1) + \frac{(C_2 + C_3)}{2} (t_3 - t_2) \right.$$

$$\left. + \int_0^{t_b - t_3} e^{-\lambda t} dt - C_1 \int_0^{t_a - t_1} e^{-\lambda t} dt \right] \qquad \text{D-3}$$

The reporting of committed doses only up to the time of reporting is no different in principle from reporting committed doses to 50 years. However, if committed doses to 50 years were used it would be necessary to report a negative dose in all periods during which no intake of HTO had occurred if the invidviaul measured half life was less than 10 days.

References

D1 Johnson J.R., 1976. Estimation, Recording, and Reporting of Whole Body Doses from Tritium Oxides Exposure at CRNL. Atomic Energy of Canada Ltd., report 5507.

D2 Johnson J.R. 1982. The Estimation of the Effective Dose Equivalent from Tritiated Water Exposures using Tritium Concentrations in Urine. Radiation Protection Dosimetry. Vol. 2, No. 4, pp. 245-247.

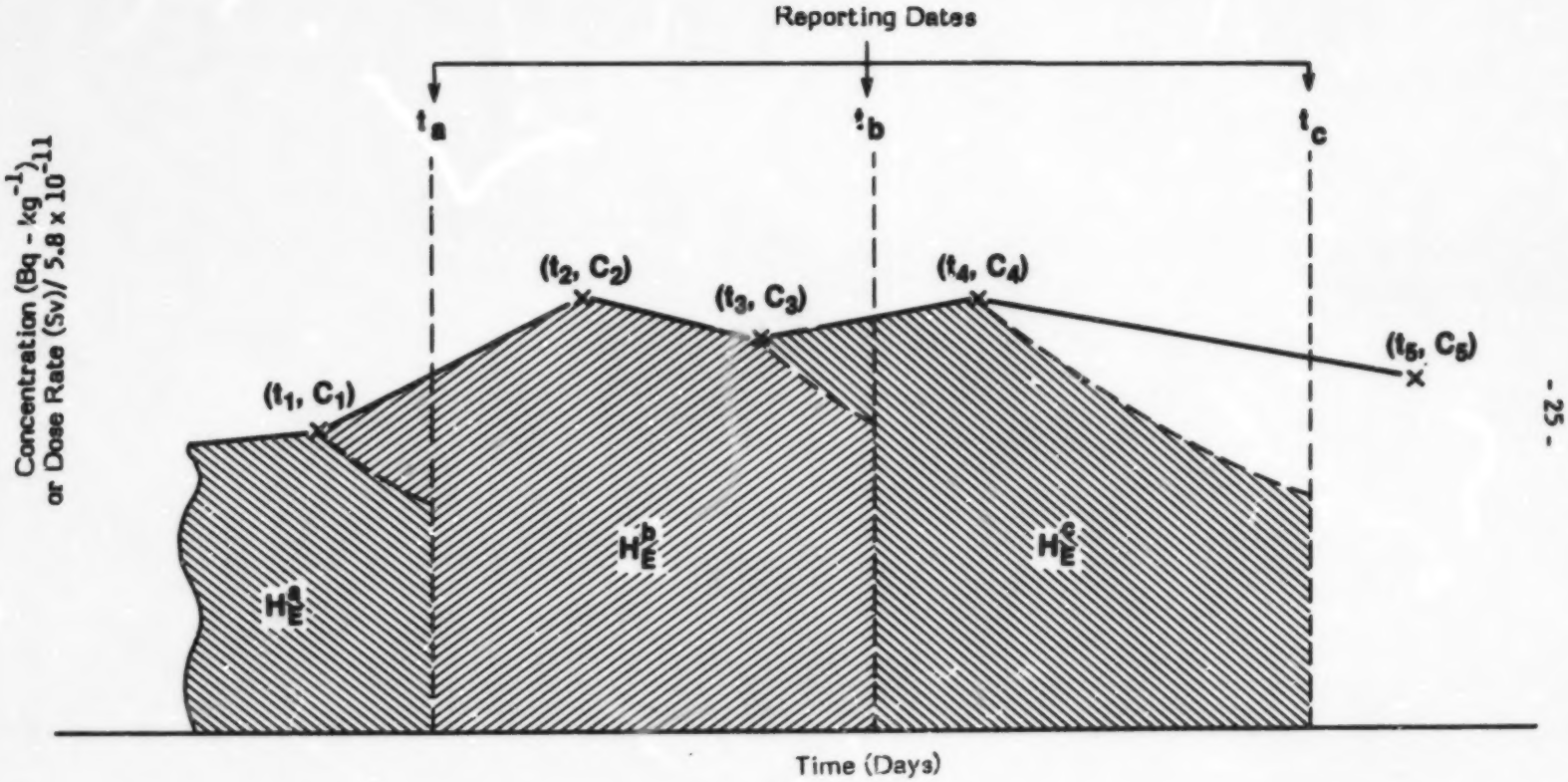


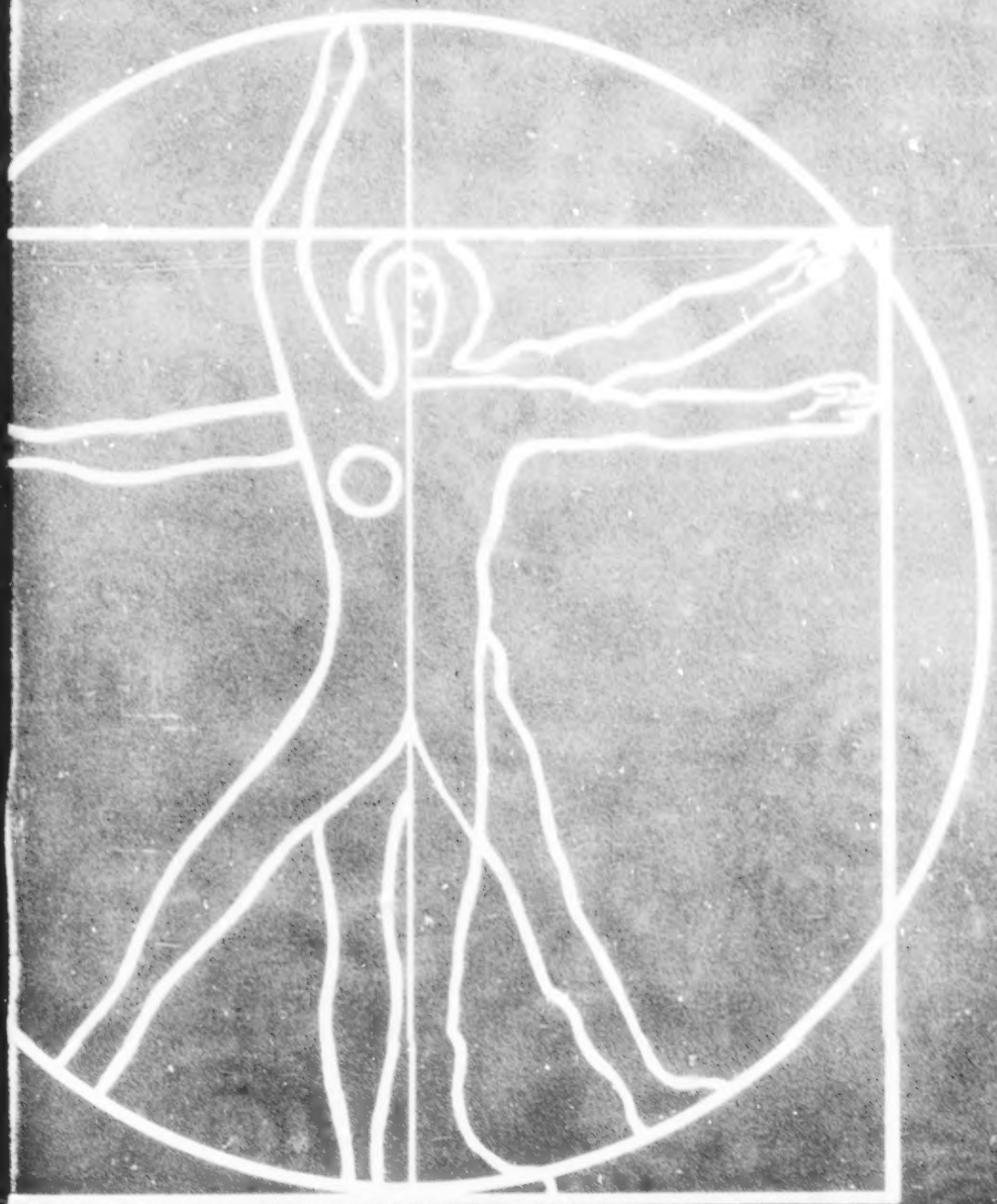
Figure D-1 Calculation of Doses from Routine Bioassay Samples

Canada

Santé et Bien-être social Canada
Health and Welfare Canada

HS-CRITER-2F

critères relatifs aux essais biologiques 2
critères d'essais biologiques du tritium



CRITÈRES RELATIFS AUX ESSAIS BIOLOGIQUES 2
CRITÈRES D'ESSAIS BIOLOGIQUES DU TRITIUM

Rapport du Groupe de travail sur les critères relatifs
aux essais biologiques et à la surveillance in vivo
présenté au
Comité consultatif fédéral-provincial sur
l'hygiène du milieu et du travail

Direction de l'hygiène du milieu
Direction générale de la protection de la santé

Publication autorisée par le
ministre de la Santé nationale et du Bien-être social

82-DHM-87

DES EXEMPLAIRES DE CE RAPPORT
PEUVENT ÊTRE OBTENUS DE LA:

Direction des affaires publiques
Ministère de la Santé nationale
et du Bien-être social
5e étage
Immeuble Brooke Claxton
Ottawa K1A 0K9

AVANT-PROPOS

Ces lignes directrices font partie d'une série de recommandations générales que prépare actuellement le Groupe de travail fédéral-provincial sur les critères relatifs aux essais biologiques et à la surveillance in vivo. Ce groupe de travail a été constitué sous l'égide de la Conférence fédérale-provinciale des sous-ministres de la Santé, par l'entremise du Comité consultatif sur l'hygiène du milieu et du travail et du Sous-comité sur la surveillance des rayonnements. Son mandat consiste à préparer une série de documents permettant d'élaborer des critères destinés à des programmes d'essais biologiques, documents qui doivent être présentés sous forme de recommandations à la Commission de contrôle de l'énergie atomique. Par souci de représentativité, ce groupe de travail est composé d'experts provenant des gouvernements fédéral et provinciaux, des universités et de l'industrie (Annexe A). La composition de ce groupe peut changer quelque peu selon les radionucléides étudiés.

Les lignes directrices et les critères relatifs à des radionucléides spécifiques s'appuient sur les meilleurs modèles métaboliques et dosimétriques disponibles. Si de nouveaux renseignements susceptibles d'influer de façon significative sur les lignes directrices deviennent disponibles, les documents feront l'objet d'une mise à jour. Les personnes et les organismes intéressés sont priés d'adresser leurs commentaires et opinions aux co-présidents.

TERMINOLOGIE

Les définitions suivantes s'appliquent à la terminologie employée dans les présentes lignes directrices. Dans la mesure du possible, les définitions s'appuient sur la terminologie de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) employée dans la publication CIPR 26(1). Pour mieux comprendre la terminologie, il y a lieu de se reporter à la publication "Critères généraux pour les essais biologiques" (2), ainsi qu'à toutes les recommandations concernant des radionucléides spécifiques. Certaines abréviations utilisées dans la terminologie diffèrent légèrement de celles employées dans les lignes directrices générales, car elles sont conformes aux dernières recommandations de la CIPR.

Irradiation interne:

- irradiation résultant de la présence d'une source de rayonnements située à l'intérieur de l'organisme.

Irradiation externe:

- irradiation résultant de la présence d'une source de rayonnements située à l'extérieur de l'organisme.

Équivalent de dose (H):

- le produit de la dose absorbée (D), du facteur de qualité (Q) et de tous les autres facteurs modificatifs (N):

$$H = DQN$$

dans le texte, le terme "dose" est utilisé pour "équivalent de dose".

Équivalent de dose engagé ($H_{50,T}$):

- l'équivalent de dose qui sera cumulé par un organe ou un tissu, T, pendant 50 ans, résultant d'une incorporation unique de matière radioactive.

$$H_{50,T} = \int_0^{50\ \text{ans}} \dot{H}(t)\, dt$$

Équivalent de dose effectif (H_E):

- la somme des équivalents de dose pondérés des divers organes ou tissus:

$$H_E = \sum_T W_T H_T$$

où les facteurs de pondération, W_T pour divers tissus, T, sont tirés de la publication nº 26 de la CIPR (3).

Équivalent de dose effectif engagé ($H_{50,E}$):

- la somme des équivalents de dose engagés pondérés de divers organes ou tissus:

$$H_{50,E} = \sum_T w_T H_{50,T}$$

Limite annuelle d'incorporation (ALI) dans le cas d'une exposition professionnelle:

- la quantité d'un radionucléide dont l'incorporation au cours d'une année entraîne pour l'homme de référence, soit un équivalent de dose effectif engagé de 50 m Sv*, soit un équivalent de dose engagé de 500 m Sv pour un organe ou un tissu donné.

Limite dérivée de concentration dans l'air (DAC):

- la concentration de tout radionucléide dans l'air, dont l'inhalation par l'homme de référence au cours d'une année de travail de 2000 heures dans des conditions d'activité légère, entraînerait une ALI par inhalation (4):

$$DAC = ALI / 2{,}4 \times 10^3 \text{ Bq m}^{-3}$$

Remarque: Dans le cas du tritium gazeux, la DAC est limitée par le débit d'équivalent de dose dans les poumons et n'est pas dérivée de la ALI. Dans la présente publication, HT désigne toutes les formes du tritium gazeux, soit HT, DT et T_2.

Essai biologique:

- estimation de la contamination interne par la mesure de la radioactivité dans les excréments et autres échantillons biologiques ou par la mesure directe in vivo.

Incorporation (contamination interne):

- la quantité de matière radioactive pénétrant par le nez ou la bouche, par une blessure ou par pénétration transcutanée.

Fonction de rétention:

- expression mathématique de la variation dans le temps de la quantité de matière radioactive restant dans l'organisme entier ou dans un organe ou tissu donné à la suite d'une incorporation.

---

* 1 Sv = 100 rem

Niveau d'investigation:

- désigne la valeur de l'incorporation telle que décrite dans CIPR 26(5). Dans le cas d'une surveillance de routine d'essai biologique, le niveau d'investigation doit être fixé selon une mesure unique et non selon l'incorporation cumulée en un an. Ainsi, le niveau d'investigation est fixé à $\frac{0,3\ ALI}{f}$ où f est le nombre de mesures individuelles effectuées annuellement.

Niveau d'investigation dérivé (DIL):

- valeur de la mesure étudiée, établie d'après l'homme de référence et les modèles métaboliques et dosimétriques reconnus, qui correspond au niveau d'investigation.

Niveau d'action:

- valeur de la mesure étudiée qui indiquerait que la dose effective engagée pour l'homme de référence pourrait excéder la dose limite annuelle de 50 mSv.

Niveau d'urgence:

- valeur de la mesure étudiée qui indiquerait que la dose effective engagée pour l'homme de référence pourrait excéder 250 mSv.

Il y a lieu de noter que les mots: "peut, pourrait, doit et devrait" utilisés dans le texte ont été choisis à dessein. Voici leur sens exact:

Peut:

- admissible sans compromettre les objectifs des critères

Pourrait:

- exprime une possibilité - aucune connotation normative

Doit:

- essentiel aux objectifs des critères

Devrait:

- souhaitable et recommandé mais non essentiel aux objectifs des critères.

TABLE DES MATIÈRES

		Page
	AVANT-PROPOS	iii
	TERMINOLOGIE	v
1.	INTRODUCTION	1
	1.1 Tritium gazeux (HT)	2
	1.2 Eau tritiée (HTO)	2
	1.3 Composés marqués au tritium (CMT)	3
	1.4 Précurseurs des acides nucléiques (PAN)	3
2.	EXIGENCES	4
	2.1 Conditions nécessitant un essai biologique	4
	2.2 Conditions ne nécessitant pas d'essai biologique	6
	2.3 Mesures pré-opérationelles	6
	2.4 Mesures post-opérationnelles	7
	2.5 Femmes en état de procréer	7
	2.6 Femmes enceintes	7
3.	PRÉCISION, FRÉQUENCE ET SENSIBILITÉ	7
	3.1 Sensibilité	7
	3.2 Fréquence pour le HTO	8
	3.3 Fréquence pour les CMT et les PAN	8
4.	INVESTIGATIONS ET INTERVENTIONS	8
	4.1 Niveau d'investigation	8
	4.2 Niveau de contrôle autorisé	9
	4.3 Niveau d'intervention	9
	4.4 Niveau d'urgence	10
5.	DOCUMENTATION	10
6.	DOSSIERS	11
	BIBLIOGRAPHIE	12
	ANNEXE A - Membres du groupe de travail fédéral-provincial sur les critères relatifs aux essais biologiques et à la surveillane *in vivo* relatifs aux critères d'essais biologiques du tritium 2	15
	ANNEXE B - L'utilisation des résultats d'analyses urinaires pour le calcul de la limite supérieure de la dose aux poumons suite à des expositions au HT	16

Page

ANNEXE C - L'utilisation de l'interpolation linéaire en vue de satisfaire aux exigences de précision 18

ANNEXE D - Calcul des doses à partir d'échantillons d'essais biologiques de routine 23

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Limites annuelles d'incorporation (ALI) et limites dérivées de concentration dans l'air (DAC) 4

Tableau 2 - Activité de tritium (Bq) utilisé nécessitant un essai biologique. . . . 5

Tableau 3 - Niveaux dérivés de tritium dans l'urine suite à l'incorporation aiguë de 0,3 ALI de HTO 9

LISTE DES FIGURES

Figure 1 - Niveaux d'intervention pour un programme minimum d'essais biologiques de routine pour le tritium 14

Figure C-1 Un tracé de $(H_A - H_{1in})/H_A$ vs le temps entre les échantillons. H_{1in} est la dose calculée en utilisant l'approximation linéaire, et H_A est la dose moyenne à un individu, avec λ max, calculée en supposant qu'une exposition aiguë a une probabilité égale de se produire en tout temps dans l'intervalle entre les échantillons. La période maximale entre les échantillons (14 jours) qui satisfera les exigences de précision de l'équation C-3 est indiquée par la flèche 21

Figure C-2 Graphique de $H_A - H_{1in}$ vs le temps entre les échantillons. H_{1in} est la dose calculée en utilisant l'approximation linéaire, et H_A est la dose moyenne à un individu, avec λ max, calculée en supposant qu'une exposition aiguë a une probabilité égale de se produire en tout temps dans l'intervalle entre les échantillons. Les points à la gauche et sous la ligne représentent des paires de concentrations (C_2) et de temps entre les échantillons qui satisferont les critères de précision de l'équation C-4 22

Figure D-1 Calcul des doses à partir d'essais biologiques de routine 25

1. INTRODUCTION

Le tritium (^3H) est le seul isotope radioactif de l'hydrogène. Sa période radioactive est de 12,3 ans et il se désintègre en ^3He en émettant une particule bêta de faible énergie. Ces particules ont une énergie maximale de 18,6 keV, une énergie moyenne de 5,7 keV et ont un parcours maximum de 6 µm dans les tissus. En raison de ce court parcours, le tritium ne constitue pas un danger de rayonnement à moins qu'il ne pénètre dans l'organisme. La faible énergie des particules bêta et l'absence d'émission de photons exclut la surveillance in vivo, et demande qu'on mesure le tritium dans les liquides organiques ou les excréments. On utilise généralement de l'urine.

Le débit de dose à un organe ou tissu T renfermant du tritium est exprimé par l'équation suivante:

$$\dot{H}_T = 1{,}38 \times 10^{-8} \epsilon \; C_T(t) \qquad (1)$$

où $\dot{H}_T$ = débit de dose (Sv j^{-1}) à un organe ou tissu T

ϵ = énergie effective par désintégration = 0,0057 MeV (Q=1; N=1)

$C_T(t)$ = concentration de tritium (Bq kg^{-1}) dans un organe ou tissu T

La dose engagée à un organe ou tissu T s'exprime par l'équation:

$$H_{50,T} = 7{,}9 \times 10^{-11} \int_0^{50 \text{ ans}} C_T(t)dt \qquad (2)$$

et la dose effective engagée est:

$$H_{50,E} = \sum_T W_T H_{50,T} \qquad (3)$$

où W_T sont les facteurs de pondération recommandés par la CIPR (3).

Dans le présent rapport, les composés du tritium ont été groupés en quatre catégories, pour fins de calcul de la limite annuelle d'incorporation (ALI) et des niveaux d'investigation (IL): tritium gazeux, eau tritiée, composés marqués au tritium et précurseurs des acides nucléiques.

Les utilisateurs des présentes lignes directrices sont prévenus qu'à l'exception de l'eau tritiée, l'incertitude liée aux ALI et aux fonctions de rétention utilisées lors des calculs est considérable. Ainsi, dans le cas d'une incorporation importante, il faut s'efforcer de déterminer la fonction de rétention de l'individu pour évaluer la dose reçue.

1.1 Tritium gazeux (HT)

D'après les récentes recommandations de la CIPR, il n'y a lieu de considérer que la dose au niveau du poumon provenant du HT dans l'air dans les poumons; la CIPR a calculé une limite dérivée de concentration dans l'air (DAC) de 2×10^{10} Bq m^{-3}(6). Les calculs récents par Peterman (16) tenant compte de l'oxidation in vivo de HT en HTO résultent en une DAC de 1×10^{10} Bq m^{-3}. Cette dernière concentration produira une dose au niveau du poumon de 0,21 Sv a^{-1} à l'homme de référence, (dose effective de 0,05 Sv) si on suppose une année de travail de 2000 heures. Cette DAC correspond à un facteur d'environ 10^4 plus élevé que celle de l'eau tritiée (HTO, DTO, T_2O); par conséquent, lorsque le HT est converti en HTO à l'intérieur ou à l'extérieur de l'organisme, la dose provenant de HTO peut devenir limitante.

Lorsque l'on décèle la présence de tritium dans l'urine de personnes travaillant avec du HT et si l'on ignore le rapport HT/HTO dans l'air, il faut alors entreprendre immédiatement une investigation. La concentration de tritium dans l'urine doit être utilisée pour le calcul de la dose au niveau des tissus et des organes autres que le poumon en supposant qu'il s'agit d'une exposition par l'eau tritiée. La dose aux poumons doit être évaluée à partir des résultats d'échantillonnage de l'air (6). Cependant une approximation de la dose maximale aux poumons peut être obtenue de la concentration de tritium dans l'urine. (Voir Annexe B).

1.2 Eau tritiée (HTO)

On suppose que l'eau tritiée, qu'elle soit inhalée, ingérée ou absorbée par voie cutanée, se mélange immédiatement et complètement avec toute l'eau de l'organisme, même si ce phénomène peut prendre jusqu'à 4 heures (7). Une partie du tritium dans l'eau de l'organisme échangera avec l'hydrogène à des sites échangeables des cellules des tissus, et une plus faible fraction deviendra incorporée dans des sites non-échangeables de l'hydrogène des cellules. Donc, la rétention de tritium dans les tissus mous suivant une exposition au HTO aura au moins deux éléments, le principal représentant le "turnover" de l'eau (temps moyen de séjour de 14 jours) et les autres représentant le "turnover" des cellules (temps moyen de séjour de 70 jours) (17). Cette rétention est habituellement écrite comme la somme de deux exponentielles ou plus (8, 18). Cependant, pour les besoins du calcul de la dose engagée, la CIPR considère seulement le premier élément représentant la rétention de l'eau vu que la variation de la période moyenne de l'eau de l'organisme est de beaucoup plus importante que l'erreur découlant de la non utilisation des autres éléments (8). Cependant, vu que ces autres éléments sont utilisés pour l'obtention de la relation entre la concentration urinaire et les débits de dose (Annexe D), ils sont inclus ici pour être conséquent. On peut en tenir compte dans le calcul de la dose engagée en les représentant comme une fraction (2,2%) de l'incorporation initiale du tritium qui a un temps moyen de séjour dans le corps de 70 jours.

Comme suite aux hypothèses ci-dessus, la dose effective engagée s'exprime par l'équation suivante:

$$H_{50,E} = 7.9 \times 10^{-11} C_o \int_0^{50} (0{,}978 \exp(-t/14) + 0{,}022 \exp(-t/70)\, dt \qquad (4)$$

$$= 1{,}2 \times 10^{-9} C_o \text{ Sv}$$

où C_o = concentration initiale de tritium dans les tissus mous (Bq kg^{-1})*

La concentration initiale de tritium dans les tissus mous peut être obtenue en divisant l'incorporation par 63 kg, soit la masse des tissus mous de l'homme de référence (9).

Ainsi, la dose effective engagée par Bq d'incorporation est de:

$$2 \times 10^{-11} \text{ Sv}$$

et la ALI est de

$$3 \times 10^{9} \text{ Bq}$$

1.3 Composés marqués au tritium (CMT)

Les composés marqués au tritium, à l'exception des précurseurs des acides nucléiques, peuvent avoir une rétention plus courte que celle de HTO (8). Toutefois, comme la plus grande partie du tritium peut se trouver dans des sites échangeables et que ces composés sont susceptibles d'être catabolisés, on suppose que leur distribution, rétention et excrétion sont les mêmes que celles pour le HTO.

1.4 Précurseurs des acides nucléiques (PAN)

Les précurseurs des acides nucléiques ont généralement une rétention plus longue que le HTO, même si la plus grande partie du tritium peut se trouver dans des sites échangeables ou être catabolisée (8). Toutefois, vu que les travaux utilisant les PAN comportent souvent un marquage spécifique à des sites non échangeables et que ces composés peuvent avoir une distribution moins uniforme que le HTO, il est recommandé d'utiliser une ALI égale à 1/10 de celle du HTO. Cette valeur a été choisie après examen des publications ICRP 23 (9) et NCRP 63 (10).

---

*Bq kg^{-1} est utilisé pour les calculs de dosimétrie, ailleurs dans le document Bq L^{-1} est utilisé comme unité usuelle de concentration urinaire. Vu que la différence entre ces deux unités est minime, elles peuvent être utilisées l'une pour l'autre.

2. EXIGENCES

2.1 Conditions nécessitant un essai biologique

Un essai biologique doit être requis pour toute personne exposée professionnellement au tritium dans les cas où:

(a) l'incorporation en une année pourrait excéder 0,1 ALI mentionnée au Tableau 1; ou

(b) un équipement respiratoire et/ou autre vêtement protecteur est requis pour limiter l'incorporation; ou

(c) les quantités utilisées sont supérieures à celles mentionnées au Tableau 2 à moins que l'on démontre qu'une incorporation supérieure à 0,1 ALI n'a pas eu lieu.

De plus, un essai biologique peut être requis pour s'assurer que le contrôle de la contamination est adéquat, même si les quantités en présence sont moindres que celles du Tableau 2.

Tableau 1 - Limites annuelles d'incorporation (ALI) et limites dérivées de concentration dans l'air (DAC)

Forme	ALI (Bq)		DAC (Bq m^{-3})
	Ingestion	Inhalation	
Tritium gazeux (HT)	-	-	1×10^{14}
Eau tritiée (HTO)	3×10^{9}	3×10^{9}	8×10^{5} *
Composés marqués au tritium (CMT)	3×10^{9}	3×10^{9}	1×10^{6}
Précurseurs des acides nucléiques (PAN)	3×10^{8}	3×10^{8}	1×10^{5}

* DAC réduite par un facteur de 1,5 pour tenir compte de l'absorption du HTO par pénétration transcutanée.

Tableau 2 - Activité de tritium (Bq) utilisé nécessitant un essai biologique.*

Type de confinement	Forme Chimique			
	HT**	HTO	CMT	PAN
Aucun				
Par expérience	3×10^{10}	3×10^{10}	3×10^{13}	3×10^{10}
par 2 semaines	4×10^{9}	4×10^{9}	4×10^{10}	4×10^{9}
par mois	8×10^{9}	8×10^{9}	8×10^{10}	8×10^{9}
par trimestre	2×10^{10}	2×10^{10}	2×10^{11}	2×10^{10}
Hotte				
par expérience	6×10^{10}	6×10^{10}	2×10^{12}	2×10^{11}
par 2 semaines	7×10^{9}	7×10^{9}	2×10^{11}	2×10^{10}
par mois	2×10^{10}	2×10^{10}	4×10^{11}	4×10^{10}
par trimestre	5×10^{10}	5×10^{10}	1×10^{12}	1×10^{11}
Boîte à gants ou système étanche				
par expérience	3×10^{12}	3×10^{12}	3×10^{13}	3×10^{12}
par 2 semaines	4×10^{11}	4×10^{11}	4×10^{12}	4×10^{11}
par mois	8×10^{11}	8×10^{11}	8×10^{12}	8×10^{11}
par trimestre	2×10^{12}	2×10^{12}	2×10^{13}	2×10^{12}

*HYPOTHÈSES POUR LA CONSTRUCTION DU TABLEAU 2

1. Toute incorporation qui pourrait subvenir sans confinement sera réduite par les facteurs suivants lorsqu'une hotte ou un système étanche sera utilisé:

Composé	Facteur de réduction	
	Hotte	Système étanche
HTO	2	100
CMT	5	100
PAN	5	100

Nous soulignons le fait que les facteurs de réduction ci-haut sont des évaluations conservatrices pour les besoins de prise de décision de la nécessité d'essais biologiques. Ils ne sont pas destinés à représenter les facteurs de protection utilisés en pratique.

2. Le pourcentage du produit utilisé sans confinement qui pourrait inconsciemment être incorporé est supposé être:

HT: 1%
PAN et CMT: 0,1%

** Ceci suppose que l'on n'effectue aucun échantillonnage de HT ou de HTO dans l'air et que tout le HT peut être converti en HTO. Si on effectue un échantillonnage de l'air, se reporter à la Section 2.1 du texte pour voir quelles sont les conditions n'exigeant aucun essai. Si le personnel responsable de la radioprotection estime qu'il ne peut se produire de conversion totale en HTO, on peut accroître d'une valeur appropriée l'activité nécessitant un essai biologique.

Le tritium gazeux est un cas particulier. Puisque seule la limite supérieure de la dose aux poumons peut être évaluée à partir des essais biologiques (voir Annexe B), la dose aux poumons doit être calculée des résultats d'échantillonnage de l'air (6). On doit donc effectuer un échantillonnage de l'air dans tous les lieux de travail où la concentration moyenne dans l'air de HT au cours des périodes d'occupation pourrait dépasser annuellement 0,1 DAC pour le HT.

Cependant, si l'échantillonnage de l'air ne permet pas d'établir de distinction entre le HT et le HTO, on doit alors prendre les mesures suivantes, même si la présence de HTO semble peu probable.

(i) Si la concentration moyenne dans l'air (HT et/ou HTO) durant l'occupation se situe entre 0,1 et 1,0 DAC pour le HTO, des essais biologiques périodiques du HTO doivent être effectués en vue de s'assurer que les doses provenant de HTO ne dépasseront pas 0,1 de la limite annuelle de dose.

(ii) Si la concentration moyenne dans l'air (HT et/ou HTO) durant l'occupation est supérieure à la DAC pour le HTO, on doit mettre en oeuvre un programme d'essai biologique du HTO.

Si l'échantillonnage de l'air permet d'établir une distinction entre le HT et le HTO, et si la concentration moyenne dans l'air pour le HTO durant l'occupation est supérieure à 10 DAC pour le HTO, on doit mettre en oeuvre un programme d'essai biologique du HTO. Le programme doit être exécuté même si les mesures de la concentration dans l'air de HTO sont très faibles.

2.2 Conditions ne nécessitant pas d'essai biologique

Habituellement, on ne requiert aucun essai biologique en présence d'une des conditions suivantes:

(a) le tritium se trouve dans un contenant fermé hermétiquement;

(b) le tritium se trouve sous une forme chimique ou physique qui ne peut être dispersée ni absorbée par voie cutanée. Cependant des essais biologiques peuvent être requis lors de l'utilisation de cibles et détecteurs tritiés; on a montré que des incorporations importantes peuvent résulter de l'absorption cutanée ou par libération de particules de tritium et de tritium gazeux (11, 12);

(c) le contrôle de l'environnement de travail permet d'identifier les conditions où des incorporations supérieures à 0,1 ALI sont très peu probables.

2.3 Mesures pré-opérationnelles

Des mesures pré-opérationnelles ou mesures de base ne sont pas habituellement requises dans le cas du tritium, mais elles peuvent être souhaitables lorsque l'on ignore les antécédents d'exposition de la personne.

2.4 Mesures post-opérationnelles

Des mesures post-opérationnelles lorsque requises, comme prévues à la Section 2.1, doivent être prises dès que possible mais dans les deux semaines qui suivent une éventuelle exposition au tritium. L'établissement d'un équilibre dans le sang et l'urine requièrent cependant au moins 4 heures (7).

2.5 Femmes en état de procréer

Il est possible qu'une femme en état de procréer se trouve enceinte sans le savoir. Cependant, si la dose d'irradiation à l'abdomen, i.e. au foetus, est reçue à un débit régulier et que le niveau d'investigation, $\frac{0,3 \text{ ALI}}{f}$ n'est pas dépassé, la dose mensuelle ne dépassera pas 1,25 mSv, $(\frac{0,3 \times 50}{12})$. Cette expositon entraîne un faible accroissement de risque pour le foetus en comparaison à l'incidence normale de malformations et de cancers dans le grand public. On estime donc qu'il n'est pas nécessaire d'établir des normes de bioessais différentes pour les femmes en état de procréer.

2.6 Femmes enceintes

Lorsque la grossesse est diagnostiquée et déclarée, la femme devrait seulement travailler dans des lieux correspondant aux critères des conditions de travail B définies par la CIPR (13), ou dans des endroits où il est très improbable que l'incorporation annuelle ne puisse excéder 0,1 ALI; conséquemment un programme de bioessais n'est pas requis.

3. PRÉCISION, FRÉQUENCE ET SENSIBILITÉ

Les exigences de précision, de fréquence et de sensibilité d'un programme d'essais biologiques varient selon que l'essai est ou non la seule méthode disponible de détection d'incorporation. La précision requise dans le calcul de la dose engagée a été fixée dans les Critères généraux relatifs aux essais biologiques (2).

Cette exigence peut être facilement respectée dans le cas d'une exposition à du HTO où la distribution et la rétention sont bien connues, mais elle ne peut être assurée pour les autres composés tritiés.

3.1 Sensibilité

La sensibilité requise lors des mesures du tritium urinaire provenant du HTO, doit être de 5×10^{4} Bq L^{-1} pour un programme de routine de bioessais. Pour la mesure du tritium urinaire provenant de l'exposition à HT, PAN, CMT et des mesures non routinières, la sensibilité doit être de 5×10^{3} Bq L^{-1}. Cette dernière sensibilité peut être facilement atteinte avec un compteur à scintillation liquide qui peut être obtenu commercialement.

3.2 Fréquence pour le HTO

Selon l'Annexe C des présents critères, on peut respecter les exigences de précision relatives au calcul de la dose de HTO si on obtient des échantillons d'urine deux fois par mois (f = 26). Si une concentration dans l'urine est supérieure à 10^6 Bq L^{-1}, des échantillons hebdomadaires (f = 52) doivent être obtenus jusqu'à ce que la concentration redevienne inférieure à cette valeur, afin de s'assurer que la dose peut être évaluée avec une précision suffisante.

Lorsque la fréquence des essais n'est pas régie par les exigences de précision mentionnées ci-dessus, alors ce qui suit doit s'appliquer:

(a) Au moins une personne de chaque zone de travail doit faire l'objet d'un contrôle hebdomadaire et tout le personnel doit faire l'objet d'un contrôle mensuel (f = 12). Si une personne a une concentration urinaire supérieure à 5×10^3 Bq L^{-1}, toutes les personnes ayant travaillé à proximité doivent fournir des échantillons pour analyse dans la semaine suivant ce résultat élevé.

(b) Aucun essai biologique n'est requis si l'on peut démontrer, à l'aide d'échantillonnage de l'air, que pour tout individu l'incorporation annuelle est moins que 0,1 ALI.

3.3 Fréquence pour les CMT et les PAN

Des conditions d'exposition aux CMT et aux PAN provoquant l'excrétion régulière de tritium sont inacceptables, car ces composés sont très peu volatils et que des incorporations ne devraient pas se produire. Tout échantillon d'urine renfermant du tritium en quantité supérieure à 5×10^3 Bq L^{-1} doit être suivi d'autres essais d'investigation.

4. INVESTIGATION ET INTERVENTIONS

4.1 Niveau d'investigation

Comme le spécifient les Critères généraux pour les essais biologiques (2), le niveau d'investigation est fixé à $\frac{0,3 \text{ ALI}}{f}$, où f est le nombre de mesures par année tel que défini à la Section 3.1. Cette expression implique qu'au fur et à mesure de la diminution de l'intervalle entre les mesures, la fraction de la limite annuelle d'incorporation qui peut être ingérée ou inhalée dans l'intervalle entre ces mesures diminue aussi.

Vu que nous devons supposer dans une approche conservatrice que tout tritium décelé dans l'urine provient d'une incorporation s'étant produite immédiatement après la dernière mesure, on doit tenir compte de la période effective du tritium lorsqu'on calcule le niveau d'investigation dérivé. Le Tableau 3 montre les DIL calculés pour des mesures effectuées à des intervalles de 7 jours, 14 jours et 30 jours. La concentration maximale urinaire mesurée immédiatement après équilibre dans le corps suite à une incorporation aiguë de 0,3 ALI est 20 MBq L^{-1}.

Tableau 3 - Niveaux dérivés de tritium dans l'urine suite à l'incorporation aigüe de 0,3 ALI à HTO

Intervalle d'échantillonnage	$\frac{1}{f}$	Facteur de correction de la période	Facteur de correction total	Niveau d'investigation dérivé, MBq L^{-1}	Niveau d'intervention dérivé, MBq L^{-1}	Niveau d'urgence dérivé, MBq L^{-1}
7 jours	0,019	0,62	0,012	0,23	40	200
14 jours	0,038	0,38	0,014	0,27	25	120
30 jours	0,082	0,13	0,011	0,22	8	42

Si ces niveaux d'investigation dérivés sont dépassés, suivre les étapes décrites ci-dessous et montrées dans l'organigramme en Figure 1:

(a) confirmer les résultats;

(b) déterminer le moment où il y a eu incorporation;

(c) vérifier les conditions de travail et s'assurer si d'autre n'ont pas été exposés.

En pratique, un DIL de 0,2 MBq L^{-1} conviendrait lorsque l'intervalle d'échantillonnage est de 30 jours ou moins.

Une investigation doit aussi être faite suite à l'observation d'un résultat non prévisible, i.e., quand les résultats présentent un écart significatif par rapport à la moyenne antérieure ou quand les résultats ne concordent pas avec ceux obtenus lors de contrôles de l'air ou des surfaces. Le personnel responsable de la radioprotection jugera de l'opportunité d'une telle décision.

4.2 Niveau de contrôle autorisé

Pour des besoins administratifs ou de contrôle de la dose, il peut être utile de définir un niveau différent du DIL, mais inférieur au niveau d'intervention (défini ci-dessous).

4.3 Niveau d'intervention

Une dose effective engagée de 50 mSv, suite à une incorporation unique, a été définie comme le niveau d'intervention dans les critères généraux pour les essais biologiques (2). Les concentrations urinaires correspondantes ou niveaux d'interventions dérivés, pour des intervalles d'échantillonnage de 7, 14 et 30 jours, sont données au Tableau 3. Lorsque le niveau d'intervention est dépassé, on peut envisager des moyens thérapeutiques pour accroître le taux de renouvellement de l'eau (14). Il y a lieu de consulter un médecin avant d'entreprendre toute action de cette nature.

Les autres mesures doivent se conformer à celles décrites en Figure 1 et telles qu'énumérées à la Section 8 des critères généraux (2) i.e.:

(a) protéger la personne contre toute incorporation supplémentaire;

(b) protéger la personne contre toute irradiation externe supplémentaire;

(c) déterminer la fonction de rétention de cette personne;

(d) déterminer la dose accumulée totale de la personne provenant de sources internes et externes et y additionner la dose effective engagée obtenue d'après les mesures actuelles. Si ce total dépasse la dose limite annuelle, il faut alors en informer la Commission de contrôle de l'énergie atomique (15). Dans le cas contraire, la personne peut reprendre son travail normal; ceci est à la discrétion du personnel de la radioprotection.

4.4 Niveau d'urgence

Une dose effective engagée de 250 mSv, suite à une incorporation unique, a été définie comme le niveau d'urgence dans les Critères généraux (2). Les concentrations urinaires correspondantes aux niveaux d'urgence dérivés, pour des intervalles d'échantillonnage de 7, 14 et 30 jours, sont données au Tableau 3. Lorsque ces niveaux sont dépassés, des moyens thérapeutiques devraient être envisagés en accord avec un médecin. Les autres mesures doivent se conformer à celles décrites en Figure 1 et à celles énumérées dans les Critères généraux:

(a) écarter immédiatement la personne de son travail;

(b) prévenir la C.C.E.A. ou la personne désignée (15);

(c) déterminer la fonction de rétention de cette personne;

(d) calculer la dose totale, telle qu'à la section 4.3.d.

5. DOCUMENTATION

Les données suivantes doivent faire l'objet d'une documentation suffisamment détaillée pour permettre de réévaluer dans le futur la pertinence du programme d'essai biologique et des estimations des doses engagées établies d'après ces mesures:

(a) Méthodes et équipement:
les détails de l'échantillonnage et des méthodes analytiques, y compris l'équipement utilisé, doivent être consignés et mis à jour au fur et à mesure des modifications apportées.

(b) Calcul de la dose:
on doit, toutes les fois que l'on utilise les résultats des essais pour évaluer la dose, consigner en détail les étapes de calcul. On recommande une méthode de calcul à l'Annexe D.

(c) Contrôle de la qualité:

les détails et les résultats de tous les programmes de contrôle de la qualité doivent être consignés.

(d) Forme chimique:

compte tenu du peu de données sur le métabolisme et la période biologique de nombreux composés de tritium, il y a lieu de noter la formule chimique du composé marqué.

(e) Autres:

toute autre information pertinente doit être consignée.

6. DOSSIERS

Les dossiers concernant les résultats des essais biologiques individuels (date et concentration), les doses engagées estimées et les vérifications des programmes doivent être conservés tant que l'organisme gouvernemental compétent n'autorise pas leur élimination. Les évaluations de dose doivent être disponibles sur demande au Bureau de la radioprotection qui les versera au Fichier dosimétrique national.

BIBLIOGRAPHIE

1. Publication CIPR 26. Recommandations de la Commission Internationale de Protection Radiologique. (Compte tenu des modifications adoptées à Stockholm en mai 1978). Pergamon Press, Oxford.
2. Critères relatifs aux essais biologiques 1. Critères généraux pour les essais biologiques. Rapport du Groupe de travail fédéral-provicial sur les critères relatifs aux essais biologiques et à la surveillance in vivo. Santé et Bien-être social Canada 81 - DHM - 56.
3. Publication CIPR 26, paragraphe 105.
4. ICRP Publication 30, Part 1, 1979. Annals of the ICRP, vol. 2, No. 3/4. Limits for Intakes of Radionuclides by Workers, p. 9.
5. Publication CIPR 26, paragraphe 178.
6. ICRP Publication 30, Part 1, 1979. Section 8.2.1.
7. Osborne, R.V., 1966. Absorption of Tritiated Water Vapour by People. Health Phys. 12: 1527-1537.
8. ICRP Publication 30, Part 1, 1979. pp. 65-68.
9. ICRP Publication 23, 1975. Report of the Task Group on Reference Man. Pergamon Press, Oxford.
10. NCRP Report No. 63, 1979. Tritium and other Radionuclide Labelled Organic Compounds Incorporated in Genetic Material. NCRP Washington, D.C.
11. Kocol, H., McNelis, D.N. and A.A. Moghissi, 1976. A study of the Particulate and Gaseous Emissions of Tritium from Neutron Generator Targets. Health Phys. 31: 73-76.
12. Carlton W.H., Braselton W.E., Bransome E.D. 1975. Release of Radioactivity from a Scandium Tritide Electron Capture Detector Used in Gas Chromatography. Health Phys. 29: 411-413.
13. Publication CIPR 26, paragraphe 161.
14. Norwood, W.O. 1975. Health Protection of Radiation Workers. p. 201. Charles C. Thomas, Springfield, Illinois.
15. Règlement sur le contrôle de l'énergie atomique 1974. SOR/DORS/74-334, Gazette du Canada - Partie II, Vol. 108, nº 12.
16. Peterman, B.F., 1982. Computer Modelling of HT Gas Metabolism in Humans, article présenté au troisième congrès annuel de l'Association Canadienne de Radioprotection, Vancouver, C.B., 4-6 mai.

17. Johnson, J.R., 1982. The Estimation of the Effective Dose Equivalent from Tritiated Water Exposures Using Tritium Concentrations in Urine, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 2, No. 4; 245-247.

18. NCRP Report No. 62, 1979. Tritium in the Environment. NCRP, Washington, D.C.

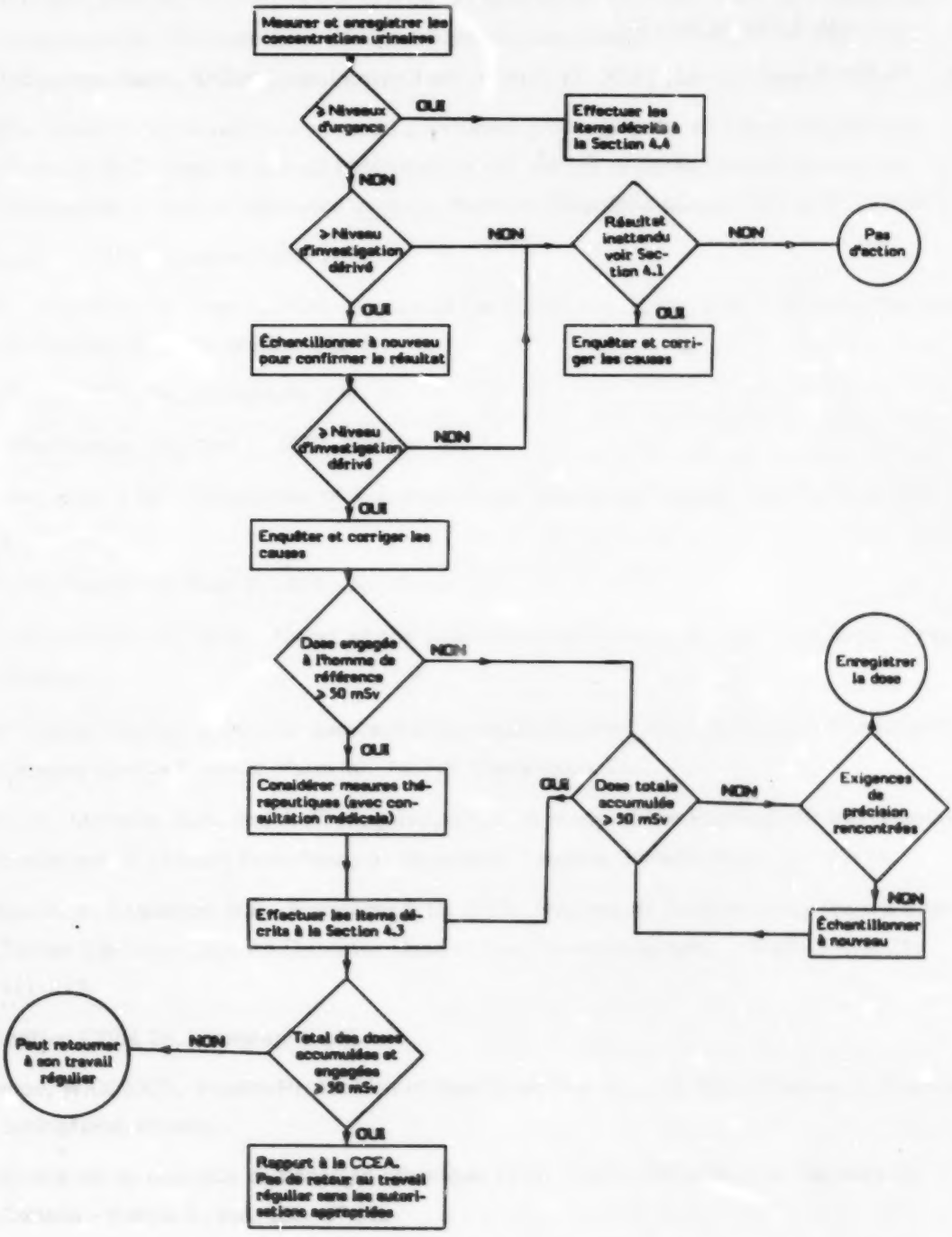


Figure 1 - Niveaux d'intervention pour un programme minimum d'essais biologiques de routine pour le tritium

ANNEXE A

Membres du groupe de travail fédéral-provincial sur les critères relatifs aux essais biologiques et à la surveillane in vivo relatifs aux critères d'essais biologiques du tritium 2.

Co-présidents*

Mary P. Measures, Bureau de la radioprotection

Christopher T. Pomroy, Bureau de la radioprotection

Membres:

Robindra M. Chatterjee, Commission de contrôle de l'énergie atomique

Michel B. Deschamps, Université de Montréal

David J. Gorman, Ontario Hydro

Stuart E. Hunt, Université de l'Alberta

John R. Johnson, Laboratoires nucléaires de Chalk River

William Neill, Eldorado nucléaire Limitée

Roger F. Palser, Manitoba Cancer Treatment and Research Foundation

John Tai-Pow, Ministère du Travail de l'Ontario

*Bureau de la radioprotection, Ministère de la Santé nationale et du Bien-être social, chemin Brookfield, Ottawa.

ANNEXE B

L'utilisation des résultats d'analyses urinaires pour le calcul de la limite supérieure de la dose aux poumons suite à des expositions au HT

Dose aux poumons

La dose H aux poumons de HT (DT, T_2) dans l'air dans les poumons est:

$$H = k_1 \int_0^T C_1(t)dt \qquad \text{(B-1)}$$

où C_1 (t) est la concentration de HT dans l'air.

La constante k_1 peut être calculée en utilisant l'équation suivante. Pour une exposition constante à 1 Bq m^{-3} pour une heure, la dose est:

$$H = 1{,}38 \times 10^{-5} \quad \frac{Q \ \varepsilon}{M} \quad Sv \qquad \text{(B-2)}$$

où Q = l'activité intégrée en Bq j

$$= \frac{1 \times 3 \times 10^{-3}}{24} = 1{,}25 \times 10^{-4} \text{ Bq j.}$$

(3×10^{-3} m^3 = volume d'air dans les poumons)

ε = énergie effective du ^3H

= 0,0057 MeV

M = masse des poumons

= 1000 g

Par conséquent: $H = 9{,}83 \times 10^{-15}$ Sv

et $k_1 = 9{,}83 \times 10^{-15}$ Sv Bq^{-1} m^3 h^{-1}

Concentration dans l'urine

Pinson et Langham (B1) ont montré qu'une exposition au gaz HT résultait en une excrétion de HTO dans l'urine et que la concentration urinaire de HTO augmentait de façon linéaire avec le temps d'exposition à une concentration dans l'air constante et ceci jusqu'à deux (2) heures. Il est donc raisonnable de supposer, en se basant sur un modèle du métabolisme du HT (B2), que le taux d'oxydation de HT in vivo est directement proportionnel à la concentration de HT dans les poumons.

Donc:

$$\frac{dC_2(t)}{dt} = k_2 C_1(t) - \lambda C_2(t) \qquad \text{(B-3)}$$

où $C_2(t)$ est la concentration de HTO dans les liquides dans le corps (urine) et λ est la constante d'excrétion pour HTO (0,0693 j^{-1}). Alors si $C_2(t)$ est zéro au début de l'exposition au HT à une concentration dans l'air $C_1(t)$, après un temps T, la concentration urinaire sera:

$$C_2(t) = k_2 \int_0^T C_1(t)\, e^{-\lambda(T-t)} dt \qquad \text{(B-4)}$$

Si $\lambda T << 1$

$$C_2(T) = k_2 \int_0^T C_1(t)\, dt \qquad \text{(B-5)}$$

k_2 peut être calculée à partir de la Figure 13 de la référence B1. Donc, (en prenant les unités dans la référence):

$$k_2 = \frac{8 \times 10^{-3}\ \mu Ci\ mL^{-1}\ (urine)}{9\ \mu Ci\ mL^{-1}\ (air)\ h}$$

$$= 8{,}9 \times 10^{-7}\ kg^{-1}\ m^3\ h^{-1}$$

La dose aux poumons à partir de la concentration dans l'urine

En combinant les équations B-1 et B-5, nous obtenons:

$$H = \frac{k_1}{k_2} \quad C_2(T)$$

$$= 1{,}1 \times 10^{-8}\ C_2(T)\ Sv\ kg\ Bq^{-1} \qquad \text{(B-6)}$$

L'équation B-6 nous permet de calculer une limite supérieure de la dose aux poumons en utilisant les analyses d'urine, pourvu que l'échantillon ait été obtenu dans les premiers jours du début de l'exposition au HT. Il est important de souligner le fait que ceci est une limite supérieure de la dose aux poumons car une partie (ou la totalité) du HTO urinaire peut résulter de l'exposition au HTO, au lieu du HT.

Références

B1 E.A. Pinson et W.H. Langham, 1980 Physiology and Toxicology of Tritium in Man, Health Physics 1087, 38, (Reproduit du Journal of Applied Physiology 10, 108, 1957).

B2 B.F. Peterman, LNCR. 1982 Computer Modelling of HT Gas Metabolism in Humans. Présenté au Congrès annuel de l'Association Canadienne de Radioprotection, Vancouver, C.B. 4-6 mai.

ANNEXE C

L'utilisation de l'interpolation linéaire en vue de satisfaire aux exigences de précision

La présente annexe se fonde sur les données du rapport de J.R. Johnson (C1) et sur une communication de R.V. Osborne et J.R. Johnson (C2), sans y être toutefois identique. Le but de cette annexe est de montrer que la dose provenant d'expositions à de l'eau tritiée et calculée par interpolation linéaire entre les mesures de concentration de tritium dans l'urine est suffisamment précise pour satisfaire aux exigences spécifiées dans les Critères généraux pour les essais biologiques (C3). Ceci permet aussi la détermination des exigences de fréquence d'échantillonnage. Les exigences de précision stipulent que l'incertitude dans l'évaluation de la dose ne doit pas excéder 50% de la limite supérieure de confiance à 95%, et lorsque les doses annuelles sont inférieures à 0,02 Sv, une incertitude de 0,01 Sv pour des limites de confiance à 95% est acceptable.

Étant donné deux échantillons d'urine prélevés à t_1 et t_2, présentant des concentrations C_1 et C_2, l'interpolation linéaire de la dose est (voir Introduction et Annexe D):

$$H_{lin} = \frac{KT\,(C_1 + C_2)}{2} \qquad \text{(C-1)}$$

$$K = 5{,}8 \times 10^{-11}\ \text{Sv kg Bq}^{-1}\ \text{j}^{-1}$$

$$T = t_2 - t_1$$

On obtiendrait la dose maximale dans cette période s'il y avait eu irradiation aiguë immédiatement après t_1. Cette dose maximale serait alors:

$$H_{max} = K\,C_2\,e^{\lambda T} \int_0^T e^{-\lambda t}\,dt \qquad \text{(C-2)}$$

Butler et coll. (C4) fournissent un domaine de valeurs pour la rétention à partir desquelles on peut évaluer pour les périodes un intervalle compris entre 5,4 et 13,6 jours (confiance à 90%). On obtient ainsi la limite supérieure de confiance à 95% pour H_{max} en fixant:

$$\lambda = \lambda_{max} = \frac{\ln 2}{5{,}4}\ \text{j}^{-1}$$

Les exigences de précision mentionnées ci-dessus s'appliquent à des doses reçues annuellement, tandis que H_{1in} et H_{max} s'appliquent à des doses reçues au cours de la période T. Il est très peu probable que la dose maximale se produira au cours de chacune des 365/T périodes en une année au cours d'un programme de contrôle de routine; c'est pourquoi les exigences de précision pour la dose au cours d'une période quelconque sont plus souples. On estime, en effet, que si un seul échantillon d'urine est analysé annuellement, il est possible qu'il en résulte la dose H_{max}, cependant, si on analyse annuellement de nombreux échantillons, la probabilité de H_{max} dans chacun des intervalles entre les échantillonnages est faible. En vue de calculer une fréquence minimale de prélèvement des échantillons, on suppose qu'il y a eu incorporation unique à un temps aléatoire entre les prélèvements. Ainsi, pour respecter l'exigence de précision, la dose calculée devrait être à 50% près, au niveau de confiance de 95%, à la dose moyenne entre les échantillons, H_A, (voir équation C-6 plus loin) en utilisant $\lambda = \lambda_{max}$.

Si on prévoit une dose annuelle inférieure à 0,02 Sv, alors la dose calculée doit être égale à 0,01 Sv près à la dose moyenne H_A. La dose annuelle sera inférieure à 0,02 Sv si les concentrations urinaires sont toutes inférieures à 9×10^5 Bq kg^{-1}.

Les inégalités qui satisfont les exigences de précision sont donc les suivantes:

$$\frac{H_A - H_{1in}}{H_A} \leqslant 0{,}5 \qquad \text{(C-3)}$$

si la dose annuelle est supérieure à 0,02 Sv, et

$$H_A - H_{1in} \leqslant 0.01\ T/365 \text{ Sv} \qquad \text{(C-4)}$$

si la dose annuelle est inférieure à 0,02 Sv.

Les valeurs de H_A sont calculées comme suit:

La dose reçue pendant la période t_1 à t_2 et provenant d'une incorporation unique au temps t est ($0 \leqslant t \leqslant T = t_2 - t_1$):

$$H = KC_1 \int_0^t e^{-\lambda t}\, dt + KC_2\, e^{\lambda(T-t)} \int_t^T e^{-\lambda(t' - t)}\, dt'$$

$$H = \frac{KC_1}{\lambda}\left[1 - e^{\lambda t}\right] + \frac{KC_2}{\lambda}\left[e^{-\lambda (t-T)} - 1\right] \qquad \text{(C-5)}$$

Si la probabilité de t est la même dans l'intervalle $t_1 \rightarrow t_2$, la dose moyenne d'une personne pendant de nombreux intervalles est:

$$H_A = \frac{1}{T}\int_0^T H\,dt$$

$$= KC_1\left[(1/\lambda - (1-e^{-\lambda T})/\lambda^2 T)\right] - KC_2\left[1/\lambda - (e^{\lambda T} - 1)/\lambda^2 T\right] \qquad \text{(C-6)}$$

À la Figure C-1, on a tracé la courbe $(H_A - H_{1in})/H_A$ en fonction de T, soit le temps entre les échantillons pour $C_1 = 0$; on obtient avec $C_1 = 0$ la plus grande différence entre H_A et H_{1in}. Vu qu'il est improbable que $C_1 = 0$ pour toutes les périodes à moins que C_2 soit également nul, cela permettra de s'assurer que les exigences de précision sont respectées pour toutes les valeurs de C_2 si le rapport $(H_A - H_{1in})/H_A$ est inférieur à 0,5 ou d'après le graphique, si T est inférieur ou égal à 14 jours.

Les valeurs de C_2 ($C_1 = 0$) pour lesquelles

$$H_A - H_{1in} = 0{,}01 \quad T/365$$

sont reportées graphiquement à la Figure C-2 en fonction du temps. Si toutes les concentrations urinaires mesurées sont inférieures à cette courbe, l'inégalité C-4 sera alors satisfaite. Notamment, si les concentrations urinaires sont inférieures à 2×10^5 Bq kg^{-1}, une fréquence de contrôle mensuelle (f = 12) sera suffisante pour que les exigences de précision soient respectées.

Références:

C1 Johnson, J.R. 1976: Estimation, Recording, and Reporting of Whole Body Doses from Tritium Oxide Exposure at CRNL. Énergie atomique du Canada Ltée. Rapport LNCR 5507.

C2 Osborne, R.V., Johnson, J.R. 1979: Problems in Estimating Effective Dose Equivalent from the Results of Bioassay for Tritium. Presented at the Annual General Meeting of the Health Physics Society, Philadelphia, 1979.

C3 Butler, H.L., LeRoy, J.H. 1965: Observations on the Biological Half-Life of Tritium. Health Physics 11:283-285.

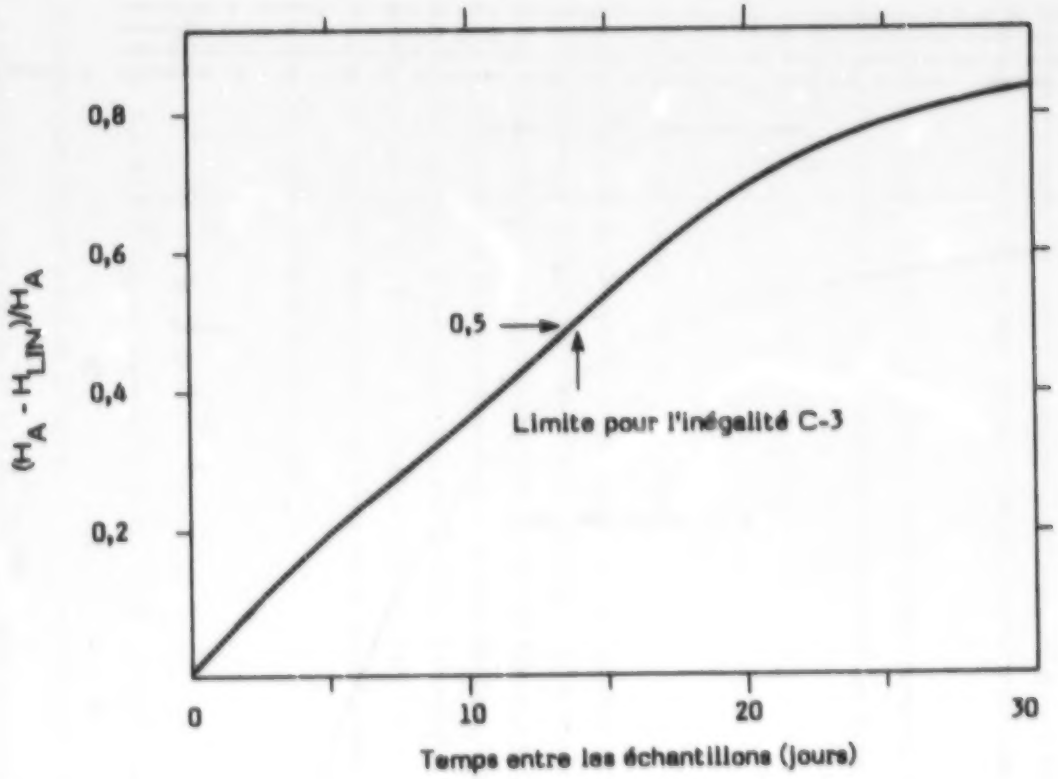


Figure C-1 - Un tracé de $(H_A - (H_{lin}) / H_A$ vs le temps entre les échantillons. H_{lin} est la dose calculée en utilisant l'approximation linéaire, et H_A est la dose moyenne, à un individu avec λ max, calculée en supposant qu'une exposition aiguë a une probabilité égale de se produire en tout temps dans l'intervalle entre les échantillons. La période maximale entre les échantillons (14 jours) qui satisfera les exigences de précision de l'équation C-3 est indiquée par la flèche.

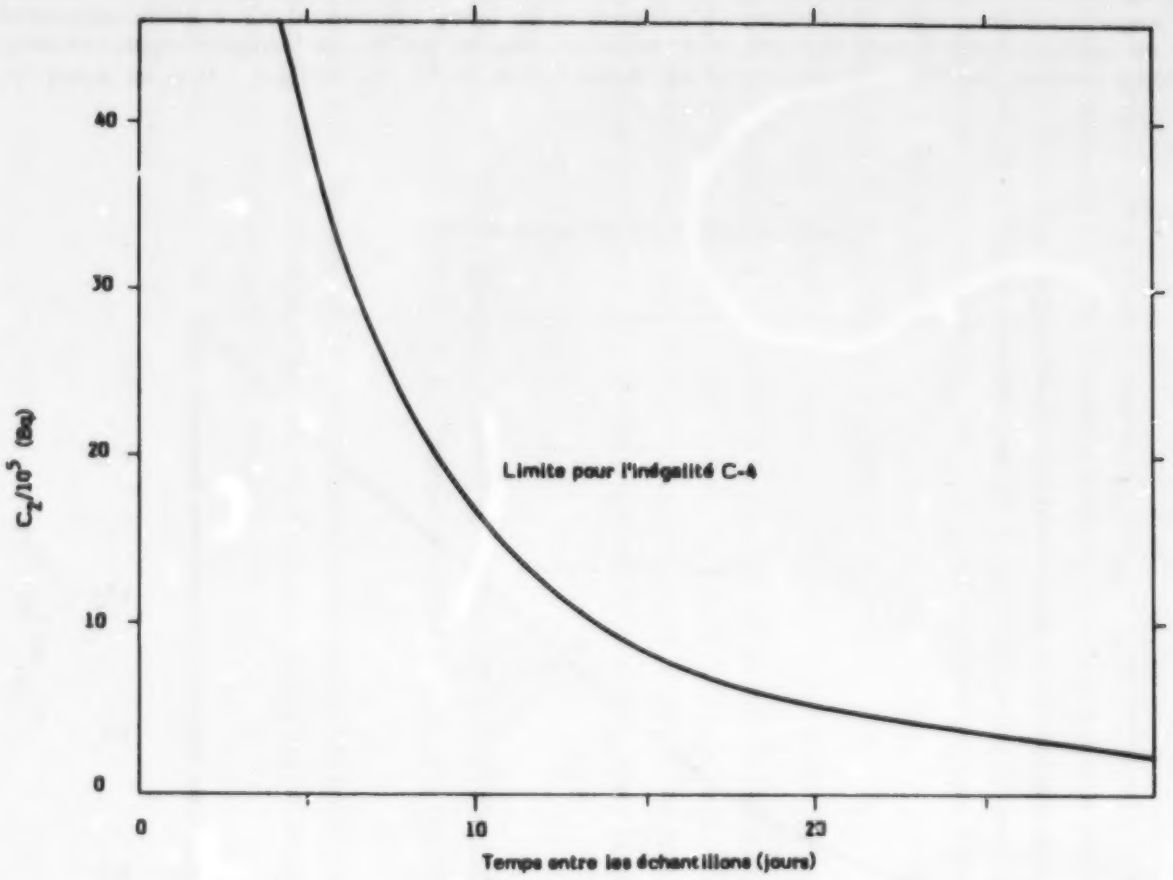


Figure C-2 - Graphique de $H_A - H_{1in}$ vs le temps entre les échantillons. H_{1in} est la dose calculée en utilisant l'approximation linéaire, et H_A est la dose moyenne, à un individu avec λ max, calculée en supposant qu'une exposition aiguë a une probabilité égale de se produire en tout temps dans l'intervalle entre les échantillons. Les points à la gauche et sous la ligne représentent des paires de concentrations (C_2) et de temps entre les échantillons qui satisferont les critères de précision de l'équation C-4.

ANNEXE D

Calcul des doses à partir d'essais biologiques de routine

Cette méthode recommandée de calcul suit essentiellement celle présentée dans le rapport EACL-5507 (D1). Elle suppose que la fréquence de contrôle a été fixée d'après la méthode de l'Annexe C pour satisfaire les exigences de précision. S'il peut être démontré cependant, qu'il n'y a eu aucune exposition entre les échantillons (i.e., l'employé était en congé), alors on peut utiliser pour le calcul de la dose une fonction de rétention exponentielle avec $T_{1/2} = 10$ jours.

La dose cumulée au temps t_k du dernier d'une série d'échantillons d'urine prélevés aux temps t_i à concentrations C_i est, en utilisant l'approximation linéaire (voir l'équation (1) de l'introduction):

$$H_E = 7{,}9 \times 10^{-11} F_c \sum_{i=0}^{k-1} \frac{(C_i + C_{i+1})(t_{i+1} - t_i)}{2} \qquad \text{(D-1)}$$

où les C_i sont en Bq kg^{-1} et les t_i en jours.

F_c est le facteur de conversion de la concentration urinaire (ou de l'eau de l'organisme) à la concentration moyenne dans les tissus mous. Johnson (D2) a montré que, bien que ce facteur varie avec le temps suivant une exposition aiguë, ou durant une exposition chronique, une valeur unique de $F_c = 0{,}73$ donnera la dose moyenne exacte pour les tissus mous à partir des mesures de la concentration urinaire, et ceci pour tous les schémas d'exposition. Ce facteur est d'environ 10% supérieur à ce qui serait calculé si la contribution à la concentration dans les tissus mous du tritium dans les sites non-échangeables de l'hydrogène était ignorée.

La dose engagée depuis le temps t_k est:

$$H_{50,E} = 5{,}8 \times 10^{-11} C_k \int_0^{\infty} e^{-\lambda t}\, dt$$
$$= 8{,}4 \times 10^{-10} C_k \qquad \text{(D-2)}$$

où la période choisie a été de 10 jours.

La somme de H_E pour l'année et la valeur $H_{50,E}$, ainsi que toute autre dose accumulée ou engagée devrait être comparée à la dose limite annuelle pour les besoins du contrôle des doses. Cependant, lorsque les doses accumulées sont enregistrées régulièrement à des fins de calcul, il est recommandé de ne consigner que la dose engagée jusqu'à la date du rapport. D'après la

Figure D-1, si t_a est la date d'un rapport, alors la dose enregistrée à t_a sera égale à la dose cumulée, jusqu'à t_1 et à la dose entre t_1 et t_a calculée en supposant une période de 10 jours. De la même façon, la dose cumulée entre t_a et t_b est:

$$H_E^b = 5{,}8 \times 10^{-11} \left[\frac{(C_1 + C_2)}{2} (t_2 - t_1) + \frac{(C_2 + C_3)}{2} (t_3 - t_2) \right.$$

$$\left. + \int_0^{t_b - t_3} e^{-\lambda t} dt - C_1 \int_0^{t_a - t_1} e^{-\lambda t} dt \right] \qquad \text{D-3}$$

L'enregistrement des doses engagées jusqu'à la date du rapport seulement n'est pas différent en principe de l'enregistrement des doses engagées sur 50 ans. Cependant, si on utilisait des doses engagées pour 50 ans, il serait alors nécessaire de rapporter une dose négative pendant toutes les périodes au cours desquelles l'incorporation de HTO serait nulle, si la période mesurée de l'individu était inférieure à 10 jours.

Références

D1 Johnson J.R., 1976 Estimation, Recording and Reporting of Whole Body Doses from Tritium Oxides Exposure at CRNL. Énergie atomique du Canada Ltée. Rapport 5507.

D2 Johnson, J.R., 1982. The Estimation of the Effective Dose Equivalent from Tritiated Water. Exposures Using Tritium Concentrations in Urine. Radiation Protection Dosimetry, Vol. 2, No. 4, 245-247.

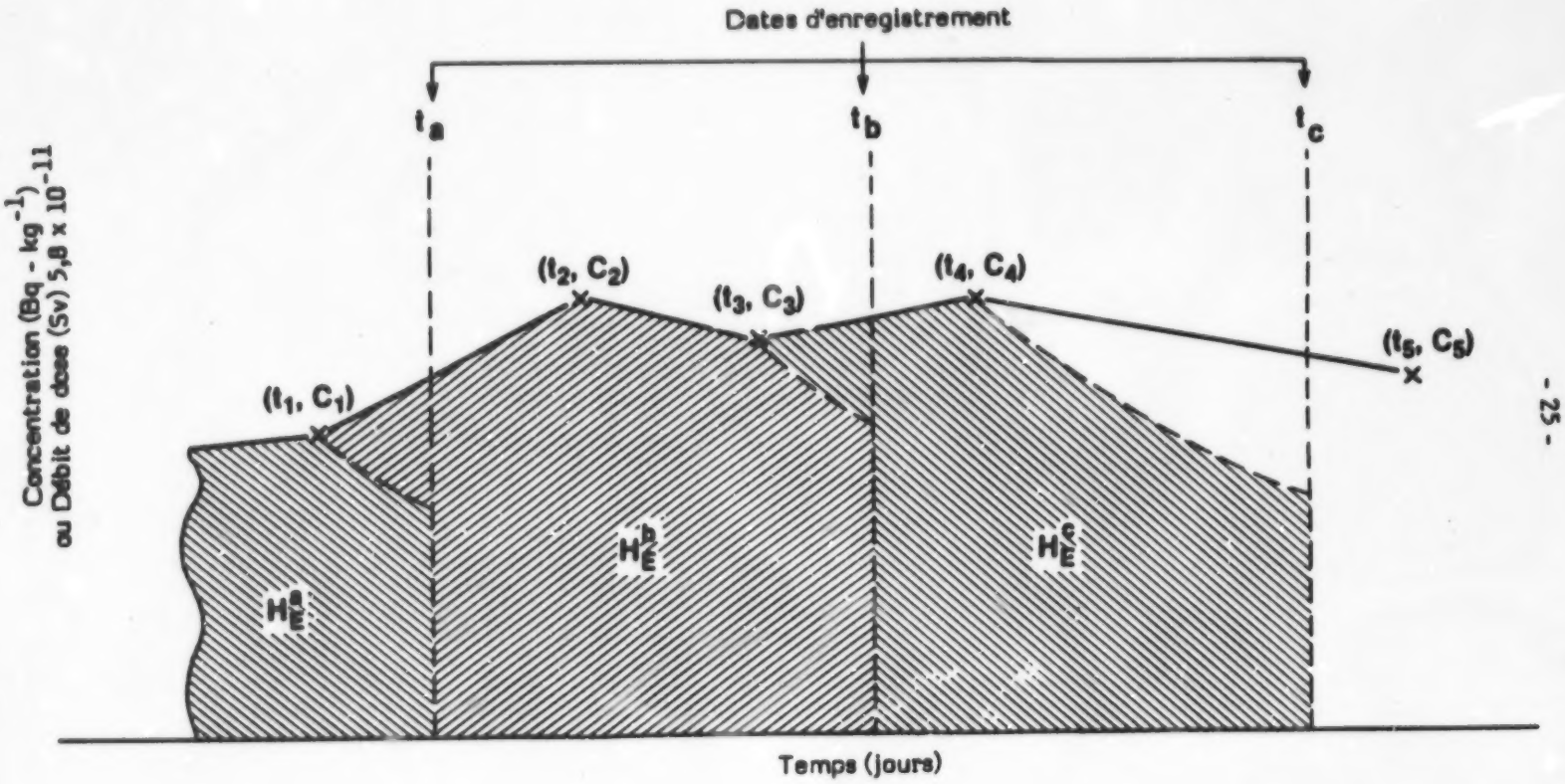


Figure D-1 Calcule des doses à partir d'essais biologiques de routine